

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RAFAEL DAL BOSCO DUCATTI

**CARRAGENA COMO ELICIADORA EM TRIGO E SUA AÇÃO NA
BIOSSÍNTESE DE DESOXINIVALENOL POR *Fusarium graminearum***

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2021

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

RAFAEL DAL BOSCO DUCATTI

**CARRAGENA COMO ELICIADORA EM TRIGO E SUA AÇÃO NA
BIOSSÍNTESE DE DESOXINIVALENOL POR *Fusarium graminearum***

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2021

RAFAEL DAL BOSCO DUCATTI

**CARRAGENA COMO ELICIADORA EM TRIGO E SUA AÇÃO NA
BIOSSÍNTESE DE DESOXINIVALENOL POR *Fusarium graminearum***

**Carrageenan as an eliciting compound of wheat and its action in
deoxynivalenol biosynthesis by *Fusarium graminearum***

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Proteção de Plantas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Sérgio Miguel Mazaro

Co-Orientador: João Américo Wordell Filho

PATO BRANCO

2021



Esta licença permite o download e o compartilhamento da obra desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-la ou utilizá-la para fins comerciais.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco



RAFAEL DAL BOSCO DUCATTI

CARRAGENA COMO ELICIADORA EM TRIGO E SUA AÇÃO NA BIOSÍNTESE DE DESOXINIVALENOL POR FUSARIUM GRAMINEARUM

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Produção Vegetal.

Data de aprovação: 08 de Outubro de 2021

Prof Sergio Miguel Mazaro, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Paulo Fernando Adami, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Siumar Pedro Tironi, Doutorado - Universidade Federal da Fronteira Sul (Uffs)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 03/11/2021.

Dedico esse trabalho aos meus pais Jair Luiz Ducatti e Silvana Dal Bosco, a minha esposa Franciele Ganzawa e ao meu filho Caetano Ducatti.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a instituição de ensino Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Pato Branco, e as empresas Cooperalfa, Barbieiro Agronegócios, EPAGRI-SC, Bortoluzzi Sementes & Cereais e Grupo Olmix, por todo apoio prestado para a condução dos trabalhos durante os experimentos realizados no ano de 2020. Gostaria também de agradecer a Universidade Federal da Fronteira Sul, em especial ao professor Dr. Siumar Pedro Tironi, por toda ajuda concedida na avaliação de parâmetros fisiológicos do trigo. Ao meu orientador, professor Dr. Sergio Miguel Mazaro e ao meu Co-orientador Dr. João Américo Wordell Filho, meu muito obrigado.

RESUMO

DAL BOSCO DUCATTI, Rafael. Carragena como eliciadora em trigo e sua ação na biossíntese de desoxinivalenol por *Fusarium graminearum*. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Proteção de Plantas), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

O trigo corresponde como a espécie vegetal de maior importância na alimentação humana e uma das primeiras espécies a terem sido domesticadas. Embora altamente importante, o trigo enfrenta grandes entraves e perdas em decorrência da incidência de fungos patogênicos que além de causarem perdas em produtividade acabam reduzindo a qualidade bromatológica dos grãos e aumentando a incidência e acúmulo de micotoxinas nos grãos colhidos, gerando uma problemática tanto à saúde humana quanto à saúde animal. Diante do exposto, esse trabalho buscou utilizar os eliciadores vegetais carragena e Acibenzolar-S-Metil (ASM) com o objetivo de reforçar a defesa vegetal e indiretamente reduzir metabolismo fúngico a fim de diminuir a síntese e acúmulo de DON nos grãos colhidos e melhorar os parâmetros agrônômicos da cultura. Os experimentos foram desenvolvidos a campo com as cultivares de trigo TBIO Audaz e TBIO Noble na área experimental da EPAGRI – Chapecó – SC no ano de 2020. Utilizou-se delineamento de blocos ao acaso com seis tratamentos (testemunha negativa, testemunha positiva (apenas fungicidas) e fungicidas associados ao ASM e a 3 doses de carragena (Algomel PUSH 0,5; 1,0 e 1,5 L ha⁻¹) e quatro repetições. Os eliciadores foram aplicados no início do alongamento junto ao fungicida. As variáveis analisadas no decorrer do trabalho basearam-se nos parâmetros morfológicos (altura e área foliar), fisiológicos (SPAD, Gs, E, A, Ci, EiC e WUE), fitossanitários (incidência de oídio, mancha-marrom, mancha-amarela, ferrugem e giberela), produtivos (produtividade, PH e PMS), bioquímicos (atividade da CAT, SOD e FAL) e qualitativos (qualidade bromatológica e micotoxicológica) da cultura. Devido ao grande estresse hídrico que afetou a área experimental no ano de 2020 associado a época de aplicação dos eliciadores (após a incidência do estresse) os efeitos da carragena e do ASM foram suprimidos. Ainda assim, os eliciadores mostraram-se ótimos aliados para a redução da incidência de oídio em ambas as cultivares e para o aumento da atividade da CAT na cultivar TBIO Noble. Entretanto, com exceção às doenças foliares e a atividade da CAT (TBIO Noble), não se observou diferenças significantes em relação aos outros parâmetros analisados nesse trabalho. Fica evidente a necessidade e a dependência do uso de fungicidas em campos tritícolas para a obtenção de plantas mais saudáveis e de maiores produtividades. Os eliciadores tiveram um efeito de basicamente duas a três semanas sobre as plantas.

Palavras-chave: DON. Giberela. Metabolismo secundário. *Triticum* spp.

ABSTRACT

DAL BOSCO DUCATTI, Rafael. Carrageenan as an eliciting compound of wheat and its action in deoxynivalenol biosynthesis by *Fusarium graminearum*. 79 f. Dissertation (Master in Agronomy) – Program of Graduation in Agronomy (Area of Concentration: Plant Protection), Universidade Federal Tecnológica do Paraná. Pato Branco, 2021.

Wheat corresponds to the most important staple food for human consumption and one of the first species to have been domesticated. Although highly important, wheat faces major obstacles and losses due to the incidence of pathogenic fungi that, in addition to causing losses in productivity, end up reducing the bromatological quality of kernels and increasing the incidence and accumulation of mycotoxins in harvested kernels, causing health problems both to human and animal health. Therefore, this work aimed to use the elicitors carrageenan and Acibenzolar-S-Methyl (ASM) in order to strengthen plant defense and indirectly reduce fungal metabolism in order to reduce the synthesis and accumulation of DON in harvested kernels and improve the agronomic parameters of the crop. The experiments were carried out in the experimental area of EPAGRI – Chapecó – SC in 2020 with the wheat cultivars TBIO Audaz and TBIO Noble. The experiment was developed under a random block design with six treatments (negative control, positive control (only fungicides) and fungicides associated with ASM and 3 doses of carrageenan (Algomei PUSH 0.5; 1.0 and 1.5 L ha⁻¹)) and four replicates. The elicitors were applied at the beginning of the elongation stage combined with the fungicide. The variables analyzed in this study were based on morphological (plant height and leaf area), physiological (SPAD, Gs, E, A, Ci, EiC and WUE), phytosanitary (incidence of powdery mildew, brown spot, yellow spot, rust and FHB), productive (productivity, PH and PMS), biochemical (CAT, SOD and PAL activity) and qualitative (bromatological and mycotoxicological quality) parameters of the crop. Due to the great water stress that affected the experimental area in 2020 associated with the time of application of the elicitors (after the incidence of stress) the effects of carrageenan and ASM were suppressed. Even so, the elicitors proved to be excellent allies to reduce the incidence of powdery mildew in both cultivars and to increase the CAT activity in the cultivar TBIO Noble. However, with the exception of leaf diseases and CAT activity (TBIO Noble), no significant differences were observed in relation to the other parameters analyzed in this work. The need and dependence on the use of fungicides in wheat fields to obtain healthier plants and higher yields is evident. The elicitors had an effect of basically two to three weeks on plants.

Keywords: DON. FHB. Secondary metabolism. *Triticum* spp.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo da giberela em plantas de trigo causada por <i>Fusarium graminearum</i> (<i>Gibberella zeae</i>)	12
Figura 2 – Local típico de desenvolvimento de cada fungo e micotoxina	15
Figura 3 – Ilustração de alguns receptores de estresse, locais de produção e detoxificação das EROs, enzimas envolvidas e, substratos e produtos formados no meio intracelular objetivando a indução do metabolismo secundário das plantas	18
Figura 4 – Apresentação das principais rotas de síntese de metabólitos secundários de defesa vegetal	21
Figura 5 – MAMPs, PAMPs, DAMPs e seus mecanismos de ação associados também a formação de PTIs, ETs e ETIs	23
Figura 6 – Mecanismos de defesa, crescimento, rotas metabólicas e enzimas envolvidas na eliciação vegetal com o uso de carragenas.....	25
Figura 7 – Valores do índice SPAD para as cultivares TBIO Audaz (A) e TBIO Noble (B) aos 1, 8, 15 e 22 DAA. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.....	37
Figura 8 – Correlação entre a incidência de oídio e o índice SPAD para as cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble eliciadas com carragena e ASM. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020	38
Figura 9 – Correlação entre o índice SPAD e a altura de plantas para as cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble eliciadas com carragena e ASM. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.....	40
Figura 10 – Correlação entre a incidência de oídio e a atividade da SOD (A), incidência de oídio e a atividade da FAL (B) e incidência de oídio e a atividade da CAT (C) para as cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020	43
Figura 11 – Produtividade (sc ha ⁻¹), peso de mil sementes (PMS - g) e peso hectolitro (PH) das cultivares TBIO Audaz (A) e TBIO Noble (B) submetidas aos tratamentos com os eliciadores ASM e carragena. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020	51

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Características físico-químicas da área experimental utilizada para a condução dos experimentos. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020 26
- Tabela 2** – Condições climáticas mensais da área utilizada para a condução dos experimentos. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020 26
- Tabela 3** – Descrição dos tratamentos, doses e épocas de aplicação para a condução dos experimentos. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020 27
- Tabela 4** – Valores de p referentes a condutância estomática ($G_s - \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 ($C_i - \mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiração ($E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa fotossintética líquida ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência instantânea da carboxilação ($E_iC - A C_i^{-1}$) e eficiência do uso da água ($WUE - A E^{-1}$) para as cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble aos 1, 8, 15 e 22 DAA. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020. 36
- Tabela 5** – Altura (cm) de plantas de trigo (TBIO Audaz e TBIO Noble) aos 1, 8, 15 e 22 DAA. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020..... 39
- Tabela 6** – Índice de área foliar das cultivares de trigo TBIO Audaz e TBIO Noble aos 14 DAA. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020..... 40
- Tabela 7** – Atividade das enzimas CAT, FAL e SOD as 0, 24, 48, 96 e 192 HAA dos eliciadores nas cultivares de trigo TBIO Noble e TBIO Audaz. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020 42
- Tabela 8** – Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença para oídio nas cultivares de trigo TBIO Noble e TBIO Audaz. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020..... 45
- Tabela 9** – Média (%) de mancha-marrom, mancha-amarela, ferrugem, oídio e giberela nas cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble. EPAGRI, SC, 2020 47
- Tabela 10** – Análise bromatológica (proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra bruta (FB), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA)) dos grãos de trigo das cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020 .. 50
- Tabela 11** – Correlação entre as variáveis analisadas e a produtividade observada nos tratamentos realizados com as cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020. . 52

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1** – Preparação das cubetas para determinação da atividade da enzima catalase em espectrofotômetro a 240 nm 29
- Quadro 2** – Preparação das cubetas para determinação da atividade da enzima superóxido dismutase em espectrofotômetro a 560 nm 30
- Quadro 3** – Preparação das cubetas para determinação da atividade da enzima fenilalanina amônia liase em espectrofotômetro a 290 nm 32

LISTA DE ABREVIATURAS

a.C.	antes de Cristo
Ca ⁺²	cálcio
pH	potencial de Hidrogênio
PH	peso Hectolitro
spp	espécies
US\$	dólar americano
ppb	partes por bilhão
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
O ₂ ⁻	Radical superóxido
OH ⁻	Radical hidroxila
¹ O ₂	Oxigênio singleto
O ₂	Oxigênio
CTC	Capacidade de troca catiônica
NPK	Nitrogênio – Fosforo – Potássio
EDTA	Ácido etilenodiamino tetra-acético
PVP	Polividona
PVPP	Polivinil Polipirrolidona
NBT	Tetrazólio nitroazul
DTT	Dithiothreitol
RPM	Rotações por minuto
ELISA	Ensaio de imunoabsorção enzimática
FDA	Fibra em detergente neutro
FDN	Fibra em detergente ácido
FB	Fibra bruta
MM	Matéria mineral
PB	Proteína bruta
EE	Extrato etéreo
%MS	Porcentagem de matéria seca
HCl-PA	Ácido clorídrico – Para análise
SC	Santa Catarina
P	Fosforo
Pi	Fosforo inorgânico
K	Potássio
Al	Alumínio
Mg	Magnésio
KCl	Cloreto de potássio
DAA	Dias após aplicação
HAA	Horas após aplicação
Gs	Condutância estomática
Ci	Concentração interna de CO ₂
A	Fotossíntese
E	Transpiração
EiC	Eficiência da carboxilação
WUE	Uso eficiente da água
MDA	Monodesidro ascorbato
DHA	Dehidroascorbato

MDHAR	Monodesidro ascorbato redutase
DHAR	Dehidroascorbato redutase
GSH	Glutationa
GSSG	Glutationa dissulfato
GR	Glutationa redutase
PGA	3-Fosfoglicerato
RuBisCo	Ribulose-1,5-bifosfato carboxilase oxigenase
IAA	Ácido indolacético
GA ₃	Giberelina
ASC	Ascorbato
GSA	Glutationa sulfonamida
TRR	Thioredoxin redutase
Fator WRKY	Fatores de transcrição “worky”

LISTA DE ACRÔNIMOS

ABITRIGO	Associação Brasileira da Indústria de Trigo
AJ	Ácido Jasmônico
SA	Ácido salicílico
ANOVA	Análise de Variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APX	Ascorbato Peroxidase
CAT	Catalase
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DAMP	Padrão Molecular Associado a Perigo
DON	Desoxinivalenol
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
EROs	Espécies Reativas ao Oxigênio
ETI	Effector Triggered Immunity
ETS	Effector Triggered Susceptibility
FAL	Fenilalanina Amônio Liase
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FAS	Foreign Agricultural Service
FHB	Giberela (Fusarium Head Blight)
HPLC	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IRGA	Analisador de Gás Infra-Vermelho
MAMP	Padrão Molecular Associado a Micróbio
NADPH	Fosfato de Dinucleótido de Nicotinamida e Adenina
NIRs	Espectrometria no Infra-Vermelho Próximo
NRCS	Natural Resources Conservation Service
PAMP	Padrão Molecular Associado a Patógeno
PMS	Peso de Mil Sementes
PRR	Receptor de Reconhecimento de Padrão
SAR	Resistência Sistêmica Adquirida
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SOD	Superóxido Dismutase
SPAD	Soil-Plant Analysis Development
UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul
UFMS	Universidade Federal de Santa Maria
USDA	United States Department of Agriculture
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
WHO	World Health Organization
PTI	PAMP triggered immunity
MEP	Metiletritol fosfato

LISTA DE SÍMBOLOS

@	arroba
Θ	theta
ι	iota
κ	kappa
λ	lambda
μ	mu
υ	nu
Β	beta
α	alfa
®	registrado
%	porcentagem/porcento
m	metro
g	Gramas
mg	miligramas
μg	Microgramas
ml	Mililitro
L	Litro
mm	Milímetro
H	Hidrogênio
Cm	Centímetro
Kg	Quilograma
Ha	Hectare
M	Molar
mmol	Milimol
μmol	Micromol
nm	Nanometro
μL	Microlitro
O	Oeste
S	Sul
sc	Sacas (60 kg)
°C	Graus celsius

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1. A CULTURA DO TRIGO (<i>Triticum</i> spp.)	9
2.1.1. O trigo no Brasil	9
2.2. GIBERELA	10
2.2.1. Prevenção e controle da doença	11
2.3. MICOTOXINAS EM GRÃOS	13
2.3.1. Desoxinivalenol (DON)	15
2.4. O METABOLISMO SECUNDÁRIO VEGETAL	16
2.4.1. Enzimas do estresse oxidativo	19
2.4.2 Enzima Fenilalanina Amônia Liase (FAL) e terpenos	20
2.5. ELICIADORES	21
2.5.1. Padrões de reconhecimento vegetal	22
2.6. CARRAGENAS COMO ELICIADORES	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	26
3.2. DESENHO EXPERIMENTAL	26
3.3. VARIÁVEIS ANALISADAS	27
3.3.1. Parâmetros fisiológicos.....	27
3.3.2. Parâmetros morfológicos.....	28
3.3.3. Parâmetros bioquímicos	28
3.3.4. Parâmetros fitossanitários	33
3.3.5. Parâmetros agronômicos de produtividade	33
3.3.6. Parâmetros qualitativos (bromatológico e micotoxicológico)	34
3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Parâmetros fisiológicos.....	36
4.2 Parâmetros morfológicos	39
4.3 Parâmetros bioquímicos	41
4.4 Parâmetros fitossanitários	44
4.5 Parâmetros qualitativos	49
4.6 Parâmetros agronômicos de produtividade	51
5. CONCLUSÕES	53
CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

Devido sua grande importância para a alimentação e nutrição humana e animal, o trigo representa hoje a cultura mais importante no meio agrícola, sendo cultivado em cinco continentes ao redor do mundo e ocupando uma área maior do que qualquer outra cultura (DIXON *et al.*, 2009; FAO, 2021). Acredita-se que o trigo tenha sido uma das primeiras espécies a serem domesticadas, a cerca de 9.000 anos a.C. (COOPER, 2015).

Embora altamente cultivada ao redor do mundo, no Brasil a cultura teve sua maior expressão apenas a partir da década de 1950, cerca de 416 anos após sua introdução no País, quando políticas voltadas a preocupação com o abastecimento nacional de trigo começaram a ser colocadas em prática, e possibilidades do acesso a juros menores e crédito fácil tornaram-se realidades mais presentes no meio agrícola (BRUM; HECK, 2005; ABITRIGO, 2021).

Atualmente o trigo brasileiro é, em sua maior expressão, cultivado na região Sul do País devido principalmente a fatores como a adaptabilidade de cultivares a regiões mais frias (MATOS, 2010). Mesmo com uma produção de 6,25 milhões de toneladas métricas em 2020, o Brasil produziu apenas cerca de 51,2% do trigo necessário para o abastecimento do País (USDA:FAS, 2021b).

Apesar de sua importância na alimentação e nutrição humana e animal, o setor tritícola enfrenta grandes problemas quanto a perdas quantitativas (produtividade) e qualitativas, principalmente em decorrência da incidência de fungos fitopatogênicos. Dentre eles, os mais problemáticos são aqueles pertencentes ao gênero *Fusarium*, causadores da doença denominada Giberela (RANDHAWA *et al.*, 2019). Estima-se que no Brasil a Giberela seja responsável por reduções de produtividade entre 18,6% e 39,9% anualmente (REIS *et al.*, 2016). Outros autores estimam que as perdas decorrentes da infestação por *Fusarium* em lavouras de trigo possam chegar a até 100% (DUVEILLER *et al.*, 2016; RANDHAWA *et al.*, 2019), principalmente devido ao acúmulo de substâncias tóxicas (micotoxinas) nos grãos.

Acredita-se que as micotoxinas, do grego toxikon (veneno) e mikes (fungo), são metabólitos secundários de defesa produzidos por fungos filamentosos quando submetidos a fatores estressantes (PONTS, 2015). Por serem organismos sésseis, os fungos apresentam como uma das suas principais armas de defesa a biossíntese de micotoxinas, as quais caracterizam-se por serem substâncias invisíveis a olho nu e

inodoras, ou seja, difíceis de serem detectadas sem a utilização de testes próprios para essa finalidade (OLMIX GROUP, 2021). Estima-se que cerca de 25% dos alimentos ao redor do mundo estejam contaminados por algum tipo de micotoxina (MARIN *et al.*, 2013). Para cereais de inverno, a micotoxina mais presente e problemática denomina-se desoxinivalenol (DON).

A DON, também conhecida por vomitoxina, pertence a classe dos tricotecenos B e caracteriza-se por ser altamente resistente aos processos industriais (moagem, refrigeração, aquecimento, etc.) pelos quais os grãos são submetidos quando industrializados (PITON; OSWALD, 2014), trazendo várias consequências à saúde humana e animal quando consumidos em grandes quantidades (MARIN *et al.*, 2013; PITON; OSWALD, 2014). Para a América do Sul, estima-se que pelo menos 67% dos campos de cereais (inverno e verão) estejam contaminados com teores de micotoxinas acima dos níveis máximos estabelecidos pelo “The Codex Alimentarius” e pela ANVISA (BIOMIN, 2021).

Embora o senso comum atrele o acúmulo de micotoxinas a maior presença de *Fusarium* nas lavouras, isso não é observado a nível científico (WEGULO, 2012, PONTE *et al.*, 2015). O uso de produtos objetivando a redução de massa fúngica a nível de campo nem sempre traz resultados satisfatórios quanto a redução do nível de micotoxinas, a qual, proporcionalmente, tende a aumentar devido ao estresse causado ao fungo ao tentar eliminá-lo sem sucesso com o uso de fungicida (DUCATTI *et al.*, 2021a).

Para a redução do acúmulo de DON em trigo e conseqüentemente para o incremento de produtividade faz-se necessário a descoberta e uso de moléculas com capacidade de reduzir de forma direta ou indireta níveis de estresse pelos quais fungos filamentosos são submetidos a nível de campo. Nesse contexto, buscou-se utilizar um polímero sulfatado exclusivo de algas vermelhas, denominado carragena e encontrado no produto comercial denominado Algomel PUSH[®], com o objetivo de avaliar se o produto promove a eliciação de mecanismos de defesa e de crescimento do trigo a fim de melhorar os parâmetros fisiológicos vegetais, reduzir a incidência de doenças foliares, reduzir a quantidade de DON sintetizada e acumulada nos grãos colhidos, melhorar a qualidade industrial dos grãos e aumentar os rendimentos quantitativos das lavouras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A CULTURA DO TRIGO (*Triticum* spp.)

Pertencente à família das Poaceae, o Gênero *Triticum* possui 32 espécies catalogadas (USDA:NRCS, 2021), sendo as mais conhecidas e cultivadas as espécies *Triticum aestivum* L., correspondendo por mais de 90% da produção global de trigo e produzido em mais de 70 países e, *Triticum durum* Desf., correspondendo por cerca de 5% da produção global e sendo produzido principalmente em países norte Africanos e oeste Asiáticos (35%), Estados Unidos (25%), União Europeia (30%) e Índia (10%) (DIXON *et al.*, 2009).

Embora ainda existam dúvidas quanto a origem do trigo, acredita-se, através de achados arqueológicos, que o trigo domesticado tenha tido sua origem nas regiões que hoje abrangem os países conhecidos como Líbano, Síria, Palestina, Turquia, Israel e Etiópia (LEV-YADUN, 2000) por volta de 9.000 a.C. (COOPER, 2015), sendo considerado uma das primeiras espécies de cereais a serem domesticadas e utilizadas como alimento básico de nutrição (DIXON *et al.*, 2009).

Atualmente o trigo é cultivado em todos os cinco continentes agricultáveis do mundo, ocupa uma área de cultivo maior do que qualquer outra cultura (DIXON *et al.*, 2009; FAO, 2021) e continua sendo a fonte primária da alimentação humana (FAO, 2014; FAO, 2021). Estima-se que a produção global de trigo, na safra 2019/2020, tenha sido de aproximadamente 776,1 milhões de toneladas métricas, tendo os países China (17,2%), Índia (13,7%), Rússia (10,9%) e EUA (6,4%) como os maiores produtores globais da cultura (USDA:FAS, 2021a).

2.1.1. O trigo no Brasil

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Trigo (ABITRIGO), as primeiras sementes dessa espécie chegaram ao Brasil na Capitania de São Vicente (onde hoje encontra-se o estado de São Paulo) trazidas por Martim Afonso de Souza no ano de 1534 (ABITRIGO, 2021). A partir de sua introdução, e devido ao clima quente Brasileiro, a cultura enfrentou grandes dificuldades de expansão, e foi apenas a partir da metade do Século XVIII (1738), no Rio Grande do Sul, que a cultura começou a disseminar-se com maior força (BRUM; HECK, 2005). Entretanto, devido a escassa mão-de-obra encontrada no Rio Grande do Sul nesse período, alinhada com o aparecimento da ferrugem do trigo, o calote governamental e o serviço militar,

o qual reduziu ainda mais a mão-de-obra no Estado, o cultivo do trigo foi praticamente dizimado (BRUM; HECK, 2005).

Em 1928, medidas governamentais buscando uma produção tecnicamente avançada começaram a ser mencionadas no Rio Grande do Sul, impulsionadas pelo então governador do estado Getúlio Vargas e pela preocupação quanto ao abastecimento nacional de trigo (BRUM; HECK, 2005). Porém, apenas a partir da década de 1950, em decorrência de preços estáveis, juros menores, crédito fácil (BRUM; HECK, 2005) e da introdução de novas técnicas de cultivo e de produtos (MATOS, 2010) é que o cultivo de trigo alavancou no Brasil.

Historicamente, a região Sul destaca-se como sendo a maior produtora de trigo no País. Entretanto, os estados que possuíram as maiores produções na safra 2020 foram: Paraná (49,5%), Rio Grande do Sul (36,2%), São Paulo (4,39%), Minas Gerais (3,64%), Santa Catarina (2,91%), e Goiás (1,48%) (CONAB, 2021).

Em 2020, a área colhida (+14,8%), produção total (+20,9%) e produtividade (+5,4%) tiveram incrementos consideráveis se comparadas a safra de 2019. Embora a área de trigo Brasileira tenha sido reduzida em aproximadamente 25,7% entre 1977 e 2020, a produtividade e a produção do trigo nacional tiveram incrementos de 306,4% e 201,8%, respectivamente (CONAB, 2021). Ainda assim, o Brasil produz apenas cerca de metade do trigo que consome. De acordo com a USDA:FAS (2021b), em 2020 o Brasil consumiu cerca de 12,2 milhões de toneladas de trigo, 95,2% a mais do que produziu.

2.2. GIBERELA

Ainda que, considerado um alimento básico e a principal fonte nutricional da humanidade (FAO, 2014), o cultivo tritícola vem sofrendo grandes perdas devido a incidência de doenças como a giberela. Estima-se que os EUA perderam entre 1993 e 2001 um total de US\$7,67 bilhões em decorrência dessa doença em trigo e cevada (MCMULLEN *et al.*, 2012). Para a Europa e América do sul, reduções de 60% e 70%, respectivamente, são relatadas na literatura (RANDHAWA *et al.*, 2019). Para o Brasil, as perdas produtivas associadas a esta doença variam entre 18,6% e 39,9% (REIS *et al.*, 2016), embora alguns autores defendam que as perdas econômicas possam chegar a até 100% em decorrência da alteração das qualidades bromatológicas e micotoxicológicas dos grãos (DUVEILLER *et al.*, 2016; RANDHAWA *et al.*, 2019).

A giberela ou fusariose da espiga, internacionalmente conhecida como *Fusarium Head Blight Disease* (FHB) ou *Scab of Wheat* (para o trigo), é uma doença que acomete cereais como milho, cevada, trigo, aveia, dentre outros. É causada principalmente pelos fungos fitopatogênicos *Fusarium graminearum* Schwabe 1839 (fase sexual: *Gibberella zeae* (Schweinitz) Petch 1936) e *F. culmorum* (William Gardner Smith) Saccardo 1892, embora outras espécies de *Fusarium* também possam causar a doença (TRAIL, 2009; WEGULO, 2012).

A doença foi primeiramente descrita no Brasil por Costa Neto em 1947 e é classificada como sendo uma doença monocíclica, embora haja contradições quanto a essa afirmação (REIS *et al.*, 2016). Os fungos causadores dessa doença podem sobreviver de forma saprofítica em restos culturais de plantas hospedeiras e não hospedeiras, aonde esporos assexuais são produzidos (macroconídios) e disseminados pelo vento, chuva, tratos culturais, insetos, etc. (Figura 1). Uma vez disseminados, e sob molhamento (18 a 72 horas) e temperaturas ideais (5 – 35 °C), esses esporos formam peritécios e liberam ascósporos (esporos sexuais), os quais infectam as espigas a partir da extrusão das anteras até os estágios de grão em massa (DEL PONTE *et al.*, 2004).

Sob constante umidade e temperatura ideal, o fungo pode se expandir por toda a espiga, causando a senescência prematura dos grãos afetados, e gerando sintomas visuais de grãos chochos, deformados e afetados por uma massa rosada de proliferação fúngica (sintoma típico da doença) (DEL PONTE *et al.*, 2004). Ambos, ascósporos e macroconídios (conídios) são considerados agentes infectantes das plantas (REIS *et al.*, 2016). Além disso, outro problema frequentemente associado a infecção de plantas por giberela, é a biossíntese e acúmulo de micotoxinas, especialmente o tricoteceno B desoxinivalenol (DON) (WEGULO, 2012).

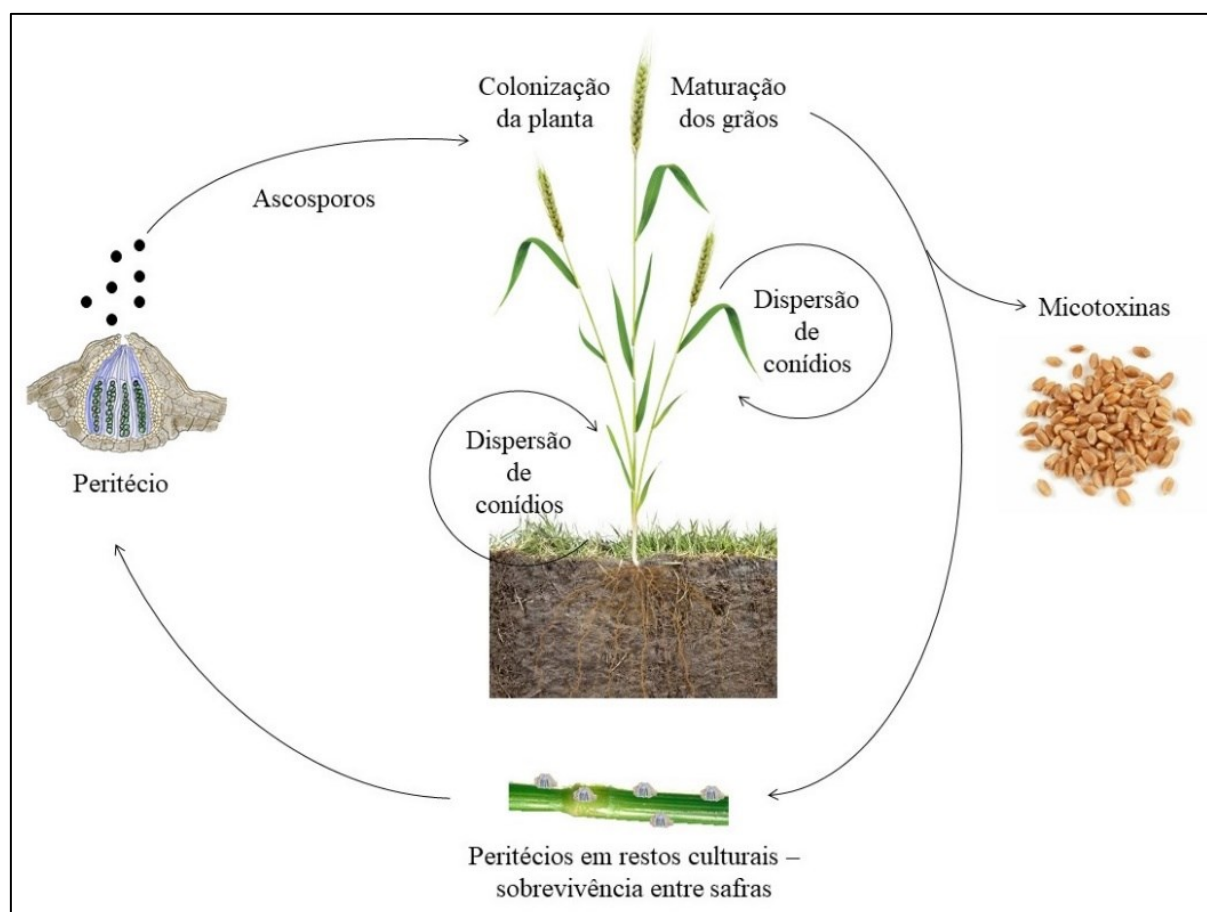
2.2.1. Prevenção e controle da doença

Devido as perdas ocasionadas a nível produtivo e econômico em decorrência da incidência de giberela em campos tritícolas, vários fungicidas contendo diferentes princípios ativos têm sido recomendados para evitar não apenas a incidência da giberela a nível de campo, mas também a diminuição no acúmulo de micotoxinas em cereais (MCMULLEN *et al.*, 2012).

De acordo com Reis *et al.* (2016), a aplicação de fungicidas visando o combate a giberela deve ser feita respeitando-se quatro pontos importantes, sendo eles (i)

período de predisposição de infecção à giberela que vai desde o início da floração até o estágio de grão em massa; (ii) período de aplicação do fungicida, o qual deve apenas ser aplicado em condições ideais de aplicação para controle da giberela, sendo essa aplicação feita antes dos períodos chuvosos, no caso de falta de chuvas, não se justifica a aplicação de fungicidas para o controle dessa doença; (iii) acompanhamento de previsões climáticas é uma prática indispensável para o correto uso de fungicidas e maior assertividade no controle da doença; e (iv) repetição de aplicações de fungicidas, as quais devem ser realizadas com intervalos de 15 – 20 dias.

Figura 1 – Ciclo da giberela em plantas de trigo causada por *Fusarium graminearum* (*Gibberella zeae*).



Adaptado e modificado de Trail (2009). Elaborado pelo autor.

Práticas culturais como rotação de culturas, uso de variedades menos suscetíveis à doença, bom manejo nutricional das plantas, dentre outras, são recomendadas com o propósito de diminuir as perdas associadas a incidência de giberela em cereais (MCMULLEN *et al.*, 2012; WEGULO, 2012). Entretanto, o uso de fungicida ainda é, sem dúvida, a melhor forma de prevenção e contenção à doença

(WEGULO, 2012). Dos fungicidas para o controle de giberela, os mais utilizados têm sido aqueles pertencentes a classe dos triazóis e estrobilurinas, embora o uso de estrobilurinas tenha sido cada vez menor em decorrência da elevação no acúmulo de DON em grãos colhidos devido ao grande estresse que essa classe de fungicida causa aos fungos (WEGULO, 2012; BERTHILLER *et al.*, 2013).

Em uma revisão de metadados de mais de 100 experimentos conduzidos com diferentes fungicidas buscando a redução de giberela em campos tritícolas nos EUA foi demonstrado que produtos que contém a combinação entre os princípios ativos prothioconazole + tebuconazole foram os mais eficientes na redução de giberela (52%), seguidos dos princípios ativos metconazole (50%), prothioconazole (48%), tebuconazole (40%), e propiconazole (32%). No que tange a redução de DON, o princípio ativo metconazole foi o mais eficiente (45%), seguido pela utilização de prothioconazole (43%), prothioconazole + tebuconazole (42%), tebuconazole (23%) e propiconazole (12%) (MCMULLEN *et al.*, 2012).

O uso de novas práticas agrícolas, em decorrência da baixa eficiência dos fungicidas (BERTHILLER *et al.*, 2013), do plantio direto e de cultivares pouco resistentes à doença, tem se tornado mais recorrente. A utilização de métodos de controle biológico visando a diminuição da incidência de giberela e o acúmulo de DON (contraditório para DON) em campos tritícolas têm sido cada vez mais explorados, principalmente em cultivos orgânicos, onde a utilização de fungicidas sintéticos é proibida (MCMULLEN *et al.*, 2012; BERTHILLER *et al.*, 2013; OLMIX GROUP, 2021).

2.3. MICOTOXINAS EM GRÃOS

Micotoxinas são metabólitos secundários de defesa inodoros, invisíveis a olho nu e acredita-se que essas toxinas sejam biossintetizadas, em sua grande parte, por fungos filamentosos fitopatogênicos quando submetidos a algum tipo de estresse (PONTS, 2015), podendo ser do tipo biótico (ataque/competição entre fungos vs. bactérias, fungos vs. fungos e/ou fungos vs. vírus) e/ou abiótico (variação em temperatura, humidade, pH, oxigenação, uso de fungicidas ineficientes, etc.) (OLMIX GROUP, 2021).

Embora acredite-se que a síntese de micotoxinas por fungos filamentosos esteja associada a fatores estressantes (PONTS, 2015), ainda não se sabe o que leva uma espécie de fungo a sintetizar diferentes micotoxinas em diferentes épocas do ano

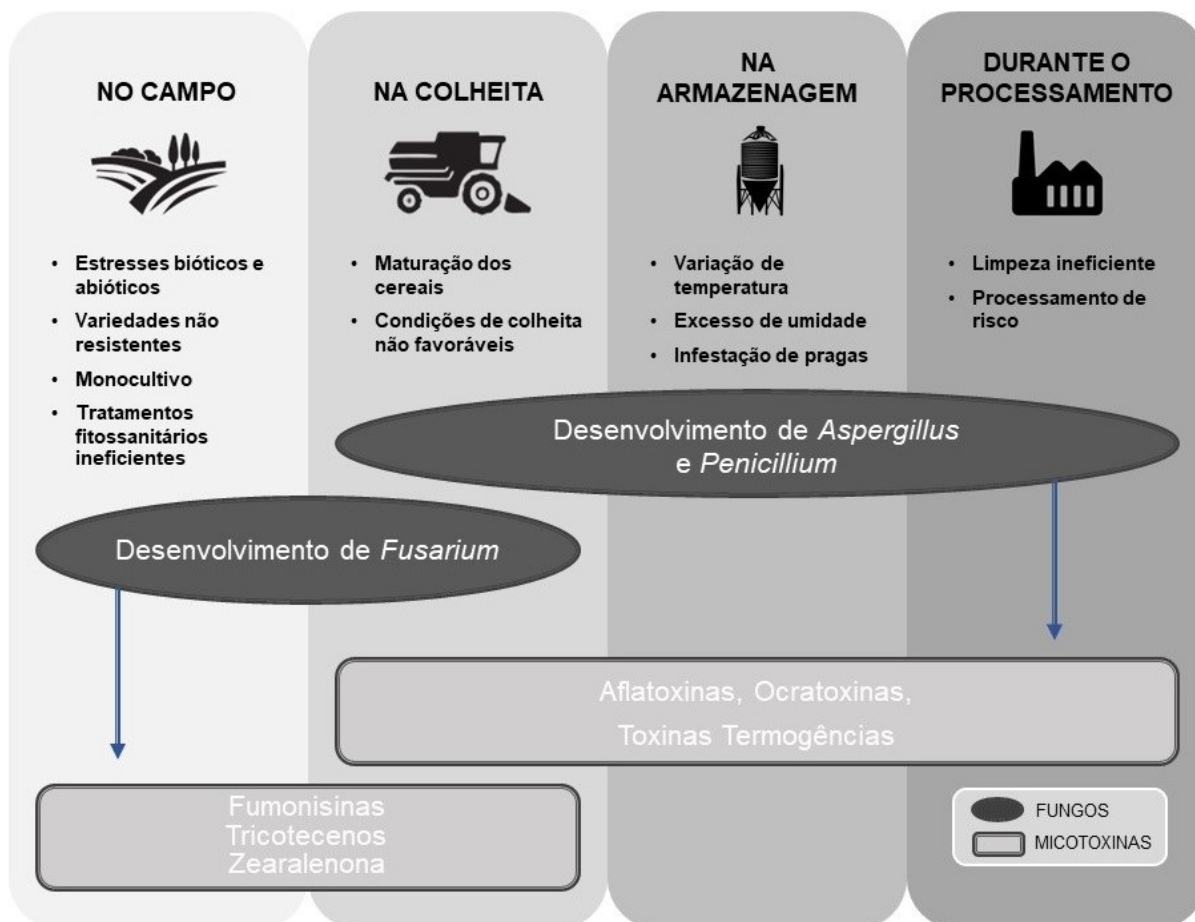
e uma mesma micotoxina ser sintetizada por diferentes espécies de fungos (WEGULO, 2012; OLMIX GROUP, 2021).

Estima-se que cerca de 25% de todos os grãos produzidos ao redor do mundo estejam contaminados (MARIN *et al.*, 2013) com níveis de micotoxinas além do nível máximo estabelecido pelo “*The Codex Alimentarius*” (FAO/WHO, 1995) sendo, além de uma grande ameaça à saúde e vida humana e animal a causa de perdas econômicas na casa das centenas de bilhões de dólares ao redor do mundo anualmente (MARIN *et al.*, 2013).

No último relatório anual publicado pela Biomin[®] sobre os teores de micotoxinas (Aflatoxina, Zearalenona, Fumonisina, Desoxinivalenol, Ocratoxina e Toxina-T2) encontrados em grãos ao redor do mundo mostrou-se que, em 2020, 63,2% das amostras testadas para micotoxinas apresentaram níveis superiores àqueles estabelecidos como sendo limitantes para a saúde animal (níveis de tolerância muito maiores se comparados a grãos destinados a alimentação humana). Para a América do Sul o problema foi ainda maior, com cerca de 67% das amostras estando com níveis acima dos toleráveis, e sendo as micotoxinas Fumonisina (68%) e Desoxinivalenol (57%) as mais comumente encontradas nos grãos (BIOMIN, 2021).

Dentre as micotoxinas, aquelas que apresentam maior desafio em serem trabalhadas e/ou evitadas são aquelas biosintetizadas por fungos do Gênero *Fusarium*, sendo elas Zearalenona, Fumonisina e Tricotecenos (dentre eles a DON). Em 2020, 93% das análises realizadas em cereais ao redor do mundo apresentaram contaminação por micotoxinas associadas ao gênero *Fusarium* (BIOMIN, 2021). O maior desafio frente a estas micotoxinas é que essas são consideradas micotoxinas de campo (Figura 2), ou seja, são em sua grande maioria biosintetizadas com a cultura ainda na lavoura, uma vez que sua síntese cessa com umidades inferiores a 15-17% (OLMIX GROUP, 2021).

Figura 2 – Local típico de desenvolvimento de cada fungo e micotoxina.



Fonte: Adaptado de OLMIX GROUP (2021). Elaborado pelo autor.

2.3.1. Desoxinivalenol (DON)

A desoxinivalenol, também conhecida como vomitoxina, é uma micotoxina pertencente a classe dos tricotecenos B (WEGULO, 2012). Essa toxina possui um anel sesquiterpenóide tetracíclico 12,13-epoxitricotec-9-eno em comum com os outros 170 tricotecenos já identificados (MARIN *et al.*, 2013) e caracteriza-se por ser resistente aos processos de moagem, refrigeração, aquecimento e processamento e, portanto, acaba contaminando também alimentos processados (PINTON; OSWALD, 2014). Sua biossíntese ocorre principalmente em pH ácido e temperaturas médias na faixa de 23,7 °C (WU *et al.*, 2017).

Ao ser ingerida em quantidades acima das pré-estabelecidas pelo “*The Codex Alimentarius*” (FAO/WHO, 1995), a DON pode causar várias complicações tanto à saúde animal quanto à saúde humana. O consumo excessivo de DON por animais pode causar perda de peso, anorexia, redução na eficiência digestiva, aumento no tamanho do fígado, redução no tamanho da tireoide, desordens imunológicas e

problemas neuróticos (MARIN *et al.*, 2013). Em seres humanos, os sintomas mais comuns são tontura, dores de cabeça, diarreia, transtornos gastrointestinais, náusea e vômito (PINTON; OSWALD, 2014).

Em decorrência dos efeitos toxicológicos atribuídos à DON, a alta incidência dessa micotoxina em grãos produzidos no Brasil, a policontaminação de grãos por diferentes micotoxinas, e preocupados em atender os limites pré-estabelecidos no “*The Codex Alimentarius*”, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), em janeiro de 2019, colocou em vigor as novas diretrizes e limites máximos para essa micotoxina em alimentos destinados à alimentação humana, reduzindo o limite máximo de DON de 1000 ppb para 750 ppb para farinha de trigo e de 1250 ppb para 1000 ppb para farinha e grãos de trigo integral (ANVISA, 2017), desafiando o mercado a buscar novas alternativas para atender a demanda por grãos com melhor qualidade (com foco em micotoxinas).

2.4. O METABOLISMO SECUNDÁRIO VEGETAL

As plantas, assim como os fungos, são organismos sésseis, o que as torna altamente sensíveis às variações em seus ambientes de crescimento (SHUKLA *et al.*, 2016). Desta forma, através de seu ciclo evolutivo, as plantas desenvolveram diferentes mecanismos de resposta a estresses bióticos e abióticos provenientes de variações climáticas e da presença de organismos predadores (insetos e animais superiores) e patogênicos (fungos, bactérias, vírus, etc.).

Os mecanismos de defesa desenvolvidos pelas plantas ao longo de sua evolução podem ser divididos em mecanismos físicos (mudança na estrutura celular), biofísicos (mudança na estrutura proteica e na atividade enzimática), metabólicos (acúmulo de subprodutos como as Espécies Reativas ao Oxigênio (EROs)), bioquímicos (proteínas que regulam, por exemplo, a homeostase do Ca^{+2}) e, epigenéticos (mudança na sequência genética) (TAIZ; ZEIGER, 2017).

De modo geral, os mecanismos de defesa vegetal citados acima agem em conjunto quando as plantas são submetidas a estresses bióticos e/ou abióticos. O processo é iniciado pela produção de EROs quando determinadas enzimas pertencentes a diferentes classes (Figura 3) captam variações/estresses/substâncias desconhecidas no ambiente de crescimento das plantas, ativando rápidas respostas de defesa vegetal através de um mecanismo denominado de hipersensibilidade vegetal (KÄRKÖNEN; KUCHITSU, 2015).

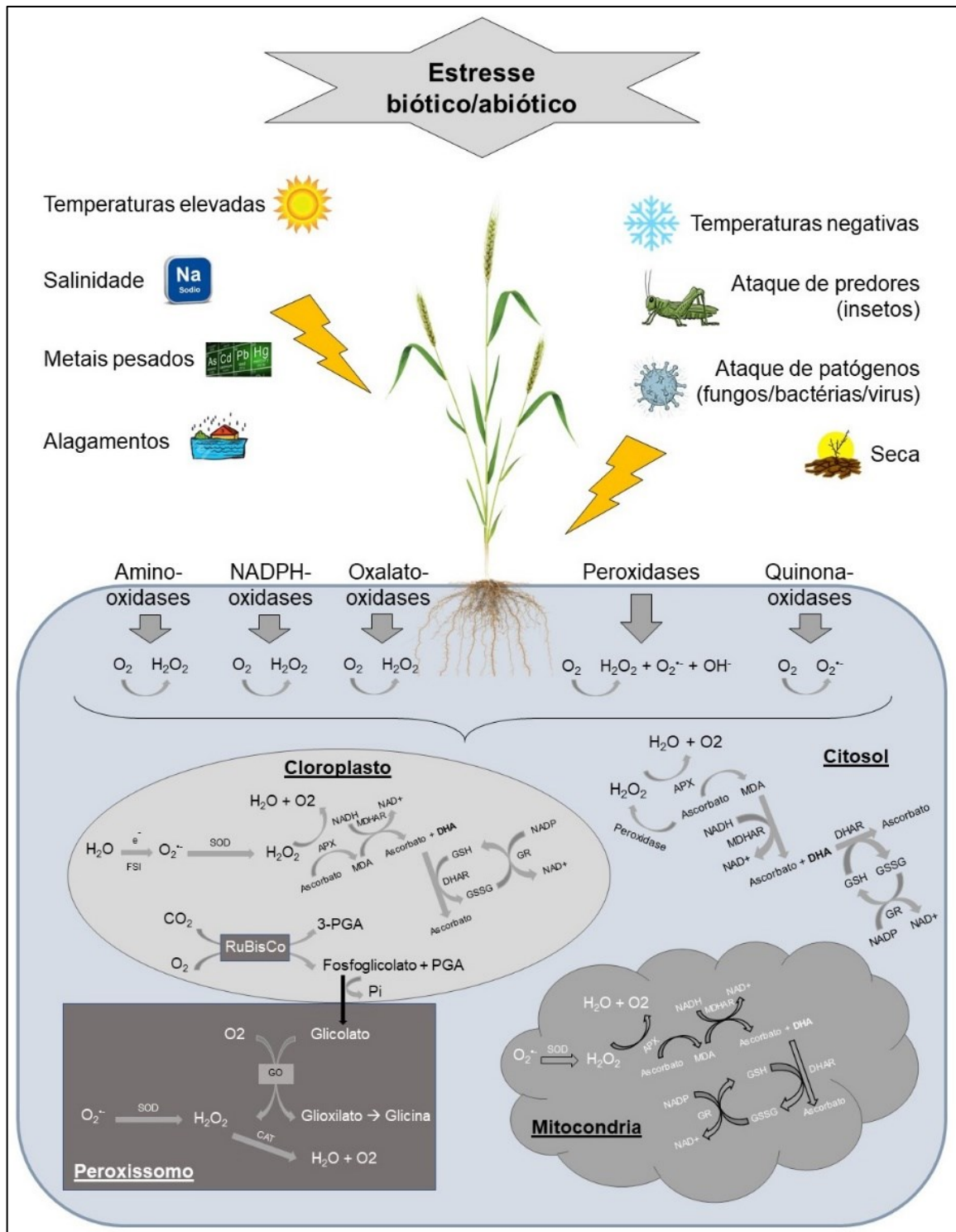
Ao serem captadas, essas variações/estresses/substâncias desencadeiam uma cascata de reações dentro das plantas levando um maior grau de resistência aos agentes estressores. As EROs também são naturalmente produzidas dentro de organelas que possuem grande fluxo de elétrons (funcionam como receptores de elétrons), como as mitocôndrias, os cloroplastos e os peroxissomos (CHOUDHURY *et al.*, 2013). As principais EROs produzidas a nível celular são peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radical superóxido ($O_2^{\cdot-}$), radical hidroxila (OH^{\cdot}) e, oxigênio singlete (1O_2), todas com alto potencial de causar peroxidação lipídica e morte celular (CHOUDHURY *et al.*, 2013; KÄRKÖNEN; KUCHITSU, 2015).

A produção das EROs ocorre com a redução de O_2 (receptor de elétrons) em decorrência de estresses, feridas e do normal desenvolvimento vegetal (KÄRKÖNEN; KUCHITSU, 2015). Por serem substâncias altamente tóxicas, produzidas durante processos de respiração aeróbica e fotossíntese, essas substâncias são capazes de exercer várias funções fisiológicas no metabolismo das plantas, incluindo mudanças na estrutura celular, degradação e estímulo à síntese de enzimas, proteínas, ácidos nucleicos, lipídios, ação antioxidante na reticulação da parede celular, sinalizadores para processos biológicos, dentre outras. (KÄRKÖNEN; KUCHITSU, 2015; CHI *et al.*, 2019).

Embora altamente importante para o desenvolvimento vegetal e sinalização bioquímica, as EROs, quando produzidas em excesso, podem causar a autointoxicação vegetal e morte celular. Para evitar essa problemática, a qual pode levar, em casos extremos, a morte vegetal (vide a ação de alguns herbicidas) e reduzir consideravelmente os níveis produtivos das plantas, várias enzimas detoxificantes são sintetizadas para a regulação das EROs. Como exemplo dessas enzimas podem ser citados a catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX), dentre outras. (CHOUDHURY *et al.*, 2013; KÄRKÖNEN; KUCHITSU, 2015).

Na figura 3 a seguir, é apresentado de forma resumida os receptores de estresses, locais de produção e detoxificação das EROs, as enzimas envolvidas e, os substratos e produtos formados objetivando a indução do metabolismo secundário das plantas quando submetidas a estresses abióticos/bióticos, ferimentos e normal desenvolvimento vegetal.

Figura 3 – Ilustração de alguns receptores de estresse, locais de produção e detoxificação das EROs, enzimas envolvidas e substratos e produtos formados no meio intracelular objetivando a indução do metabolismo secundário das plantas.



As enzimas receptoras de fatores estressantes são ativadas de formas diferentes em decorrência do estresse pelo qual a planta está sendo submetida. Fonte: Adaptado e modificado de Choudhury *et al.* (2013), Kärkönen; Kuchitsu (2015), Shukla *et al.* (2016), Chi *et al.* (2019). Elaborado pelo autor.

As EROs também possuem um papel muito importante para a ativação de outras rotas de defesa vegetal, como por exemplo a rota do ácido salicílico, ácido jasmônico, etileno e sinalização para a síntese de vários compostos de defesa como por exemplo os osmorreguladores (chaperonas e *heat-shock proteins*), produção de compostos tóxicos e repelentes à insetos, e a síntese de proteínas inibidoras das α -amilases, proteases e lectinas (importantes contra o ataque de insetos) (SHUKLA *et al.*, 2016; TAIZ; ZEIGER, 2017; CHI *et al.*, 2019). Essas rotas também são importantíssimas para desencadear a produção das famosas enzimas relacionadas aos genes de patogênese (genes PR).

Os genes PR dão origem a diversas enzimas hidrolíticas, enzimas de modificação da parede celular, agentes antifúngicos/repelentes (fitoalexinas) e, componentes de rotas de sinalização, as famosas PR-Proteínas (glucanases, quitinases e peroxidases, por exemplo) conferindo às plantas um aumento de resistência à infecções secundárias denominada resistência sistêmica adquirida (SAR), a qual desenvolve-se após algumas horas a partir do início da infecção (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Embora o senso comum acredite haver reduções dos níveis produtivos em decorrência da ativação dos mecanismos de defesa vegetal (produção de EROs, de enzimas detoxificantes e de compostos de defesa), de modo geral, não se observam perdas energéticas/produtivas significativas nos vegetais. O que se observa com a eliciação do mecanismo secundário dos vegetais é um aumento dos rendimentos produtivos e da sanidade das plantas e produtos produzidos (SAUCEDO *et al.*, 2015). Embora alguns autores justifiquem que, por serem mecanismos modulados, a ativação do mecanismo secundário vegetal com o objetivo de defesa do organismo leve a necessidade de alta quantidade de energia e esqueleto carbônico para a síntese de compostos e enzimas de defesa (CHI *et al.*, 2019; FESEL; ZUCCARO, 2016), outros autores mostram que, plantas anuais conseguem obter toda a energia e carbono necessário para sua autodefesa, para todo seu ciclo de desenvolvimento, com menos de uma hora de fotossíntese plena (FOYER *et al.*, 2007).

2.4.1. Enzimas do estresse oxidativo

Existem várias enzimas que atuam nas rotas de defesa vegetal. Dentre elas, as enzimas mais estudadas são enzimas relacionadas às explosões oxidativas, como por exemplo as enzimas detoxificantes superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT)

e ascorbato peroxidase (APX). (CHOUDHURY *et al.*, 2013; KÄRKÖNEN; KUCHITSU, 2015; TAIZ; ZEIGER, 2017; CHI *et al.*, 2019).

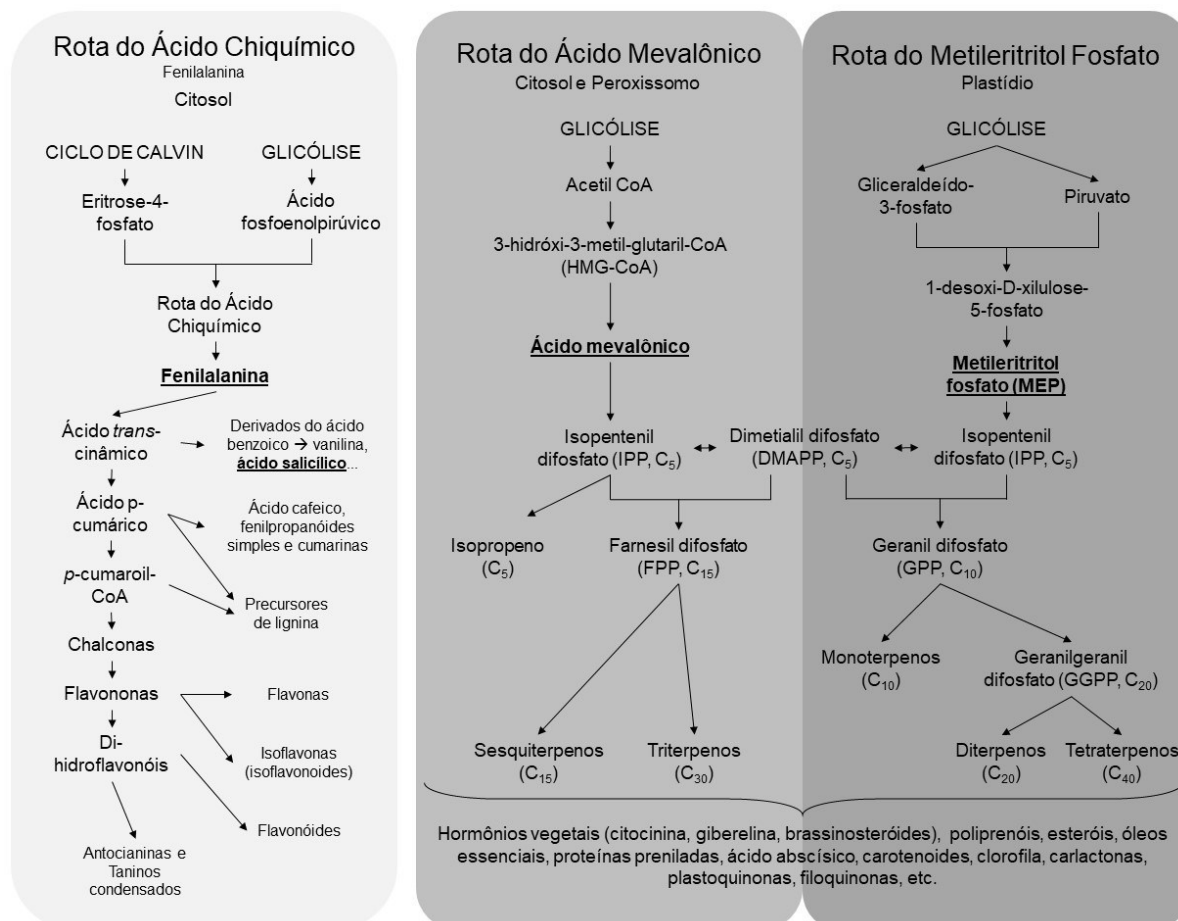
A enzima SOD possui várias variantes e pode ser encontrada no citosol, apoplasto e em organelas como a mitocôndria, os cloroplastos e os peroxissomos (Figura 3). A principal função da SOD e seus variantes é a oxidação do superóxido de oxigênio para peróxido de hidrogênio. A APX assim como a SOD também possui variantes que estão presentes em diferentes organelas e locais intracelulares. A principal função da APX é catalisar a destruição de peróxido de hidrogênio em água + monodesidroascorbato (MDA). A CAT, em contrapartida, é encontrada apenas nos peroxissomos e atua principalmente na detoxificação do peróxido de hidrogênio em água e oxigênio (TAIZ; ZEIGER, 2017).

2.4.2 Enzima Fenilalanina Amônia Liase (FAL) e terpenos

Outra enzima amplamente estudada em trabalhos que utilizam eliciadores, principalmente por estar situada no ponto de ramificação entre o metabolismo primário e secundário dos vegetais é a fenilalanina amônia liase (FAL) O aminoácido fenilalanina é sintetizado a partir da rota do ácido chiquímico e, a partir da sua biossíntese e em decorrência da enzima FAL, esse aminoácido é quebrado em ácido trans-cinâmico e convertido em vários compostos fenólicos de defesa e crescimento vegetal, dentre eles podem ser citados os derivados do ácido benzóico, como o ácido salicílico, fenilpropanoides simples, precursores de lignina, flavonoides, isoflavonas, taninos, cumarinas, antocianinas, etc. muitos dos quais correspondem as famosas fitoalexinas (compostos de baixo peso molecular com propriedades antimicrobianas) (Figura 4). (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Outra classe de compostos pertencentes ao metabolismo secundário vegetal são os terpenos, os quais são amplamente explorados em estudos envolvendo eliciação vegetal. Os terpenos são sintetizados a partir do Acetil-CoA e seus intermediários glicolíticos principalmente pelas rotas do ácido mevalônico e do metileritritol fosfato (MEP) (podem ser produzidos também pela rota do ácido malônico), os quais dão origem a alguns hormônios vegetais, e uma vasta gama de óleos essenciais, esteróis e álcoois politerpênicos (dolicóis → transportadores de açúcares na parede celular e na síntese de glicoproteínas) (Figura 4) (BUCHANAN *et al.*, 2015, TAIZ; ZEIGER, 2017).

Figura 4 – Apresentação das principais rotas de síntese de metabólitos secundários de defesa vegetal.



Fonte: Adaptado de Buchanan *et al.* (2015) e Taiz; Zeiger (2017). Elaborado pelo autor.

2.5. ELICIADORES

Elicidores são moléculas, de qualquer tamanho e peso molecular, orgânicas ou inorgânicas, naturais ou sintéticas, altamente estáveis ou com baixa estabilidade, porém capazes, de diferentes formas e graus e graças a enzimas e receptores de reconhecimento de padrões presentes nos vegetais (PRRs – para DAMPS e PAMPS) (Figure 5), de induzirem diferentes respostas de defesa vegetal (hipersensibilidade e SAR) ao mimetizarem a ação de patógenos e/ou ao causarem algum dano celular às plantas (FOSKET, 1994; MEJÍA-TENIENTE *et al.*, 2010). Apesar do constante uso de elicidores biogênicos (exógenos ou endógenos), agentes abiogênicos como metais pesados, salinidade, temperatura, luz ultravioleta, etc. também podem ser utilizados como mecanismos para o estímulo a resposta de defesa vegetal (FOSKET, 1994).

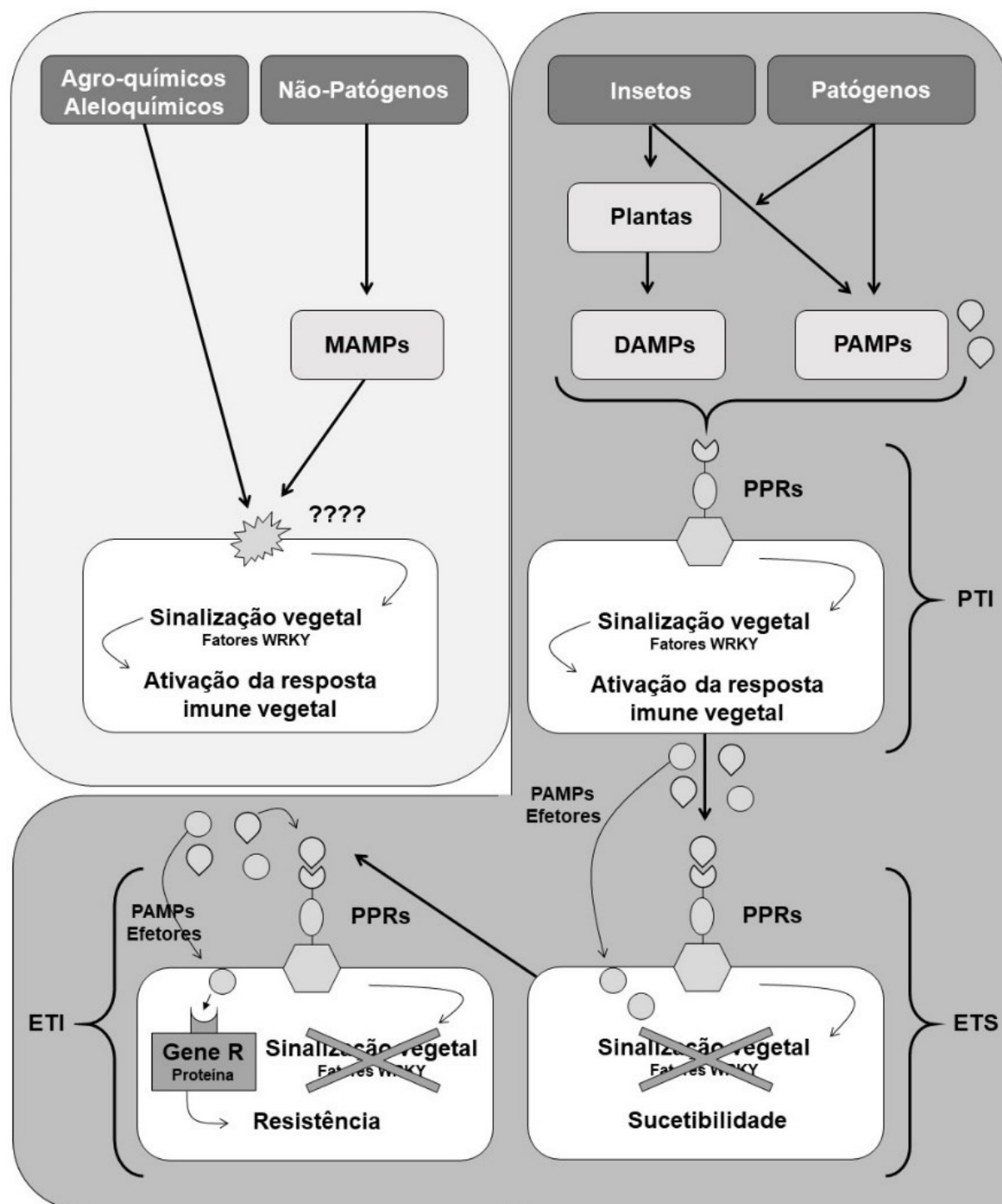
2.5.1. Padrões de reconhecimento vegetal

As plantas são capazes de reconhecer diferentes padrões associados a fatores estressantes biogênicos, sendo eles os MAMPs (*microbe-associated molecular patterns*), os PAMPs (*pathogen-associated molecular patterns*) e os DAMPs (*damage-associated molecular patterns*). Diferentemente dos MAMPs, os DAMPs e PAMPs possuem padrões moleculares que são reconhecidos e identificados pelas plantas através dos receptores de proteínas denominados PRRs (*pattern-recognition receptors*) (MEJÍA-TENIENTE *et al.*, 2010).

Os MAMPs, são padrões moleculares específicos e existentes em diferentes organismos não patogênicos. Assim como substâncias encontradas em defensivos agrícolas, os MAMPs ativam respostas de defesa vegetal através de mecanismos ainda não muito bem elucidados (HENRY *et al.*, 2012). Em contrapartida, os PAMPs (padrões moleculares existentes em microrganismos patogênicos) e os DAMPs (padrões moleculares encontrados em insetos) são reconhecidos através dos receptores PRRs e desencadeiam a chamada PTI (*PAMP—Triggered Immunity*) (Figura 5). Embora de diferentes formas, os MAMPs, DAMPs e PAMPs são capazes de desencadear várias respostas de defesa vegetal. (HENRY *et al.*, 2012; CHOI; KLESSIG, 2016; TAIZ; ZEIGER, 2017).

Muitos agentes patogênicos (fungos, bactérias e insetos) também possuem a capacidade de secreção efetores (genes de avirulência – proteínas secretadas para alterar a atividade e expressão gênica de genes do sistema de defesa do hospedeiro) com o intuito de impedir que mecanismos de defesa vegetal sejam ativados, desencadeando nas plantas o chamado *Effector-Triggered Susceptibility* (ETS). Como forma de defesa aos ETS, as plantas sintetizam, como um processo evolutivo, genes de resistência (*R*) que identificam esses efetores e os “inativam”, induzindo a uma nova imunidade, agora desencadeada por genes de resistência (ETI – *Effector-Triggered Immunity*) (WIESEL *et al.*, 2014).

Figura 5 – MAMPs, PAMPs, DAMPs e seus mecanismos de ação associados também a formação de PTIs, ETIs e ETIs.



Fonte: Adaptado de DALIO (2013), HENRY *et al.* (2015), e TAIZ; ZEIGER (2017). Elaborado pelo autor.

2.6. CARRAGENAS COMO ELICIADORES

As carragenas são polissacarídeos sulfatados, parcialmente hidrofílicos e lineares derivados exclusivamente de algas vermelhas. São formadas por unidades de D-galactoses e 3,6-anidrogactoses conectadas por ligações glicosídicas do tipo

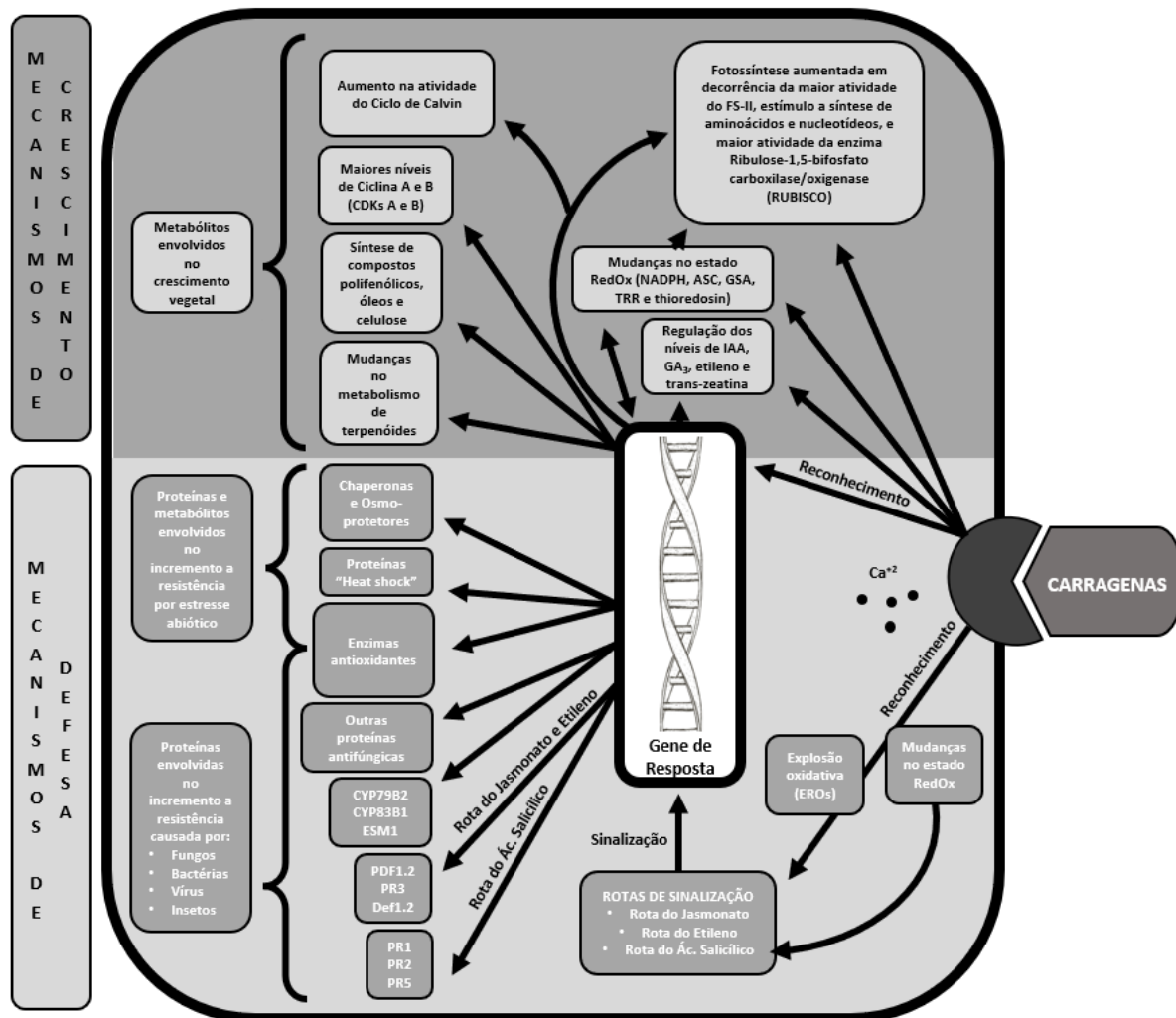
α -1,3 e β -1,4. Podem ser divididos em 6 diferentes tipos básicos, mas não únicos, iota(I)-, kappa(κ)-, lambda(λ)-, mu(μ)-, nu(u)-, e theta(Θ) carragenas, sendo as mais concentradas em grupos sulfatados os tipos lambda(λ)-, iota(I)- e kappa(κ)-carragenas, com 41%, 33% e 20%, respectivamente (SHUKLA *et al.*, 2016).

Acredita-se que quanto maior o grau de sulfatação das carragenas, maior é seu potencial para eliciar diferentes mecanismos de defesa dentro das plantas (SHANGA *et al.*, 2010; SHUKLA *et al.*, 2016). Desse modo, estudos mostram que as carragenas lambda(λ), iota(I) e kappa(κ) são as mais utilizadas como eliciadores vegetais (SHANGA *et al.*, 2010; STADINIK; FREITAS, 2014; SHUKLA *et al.*, 2016).

De acordo com vários resultados relatados e discutidos em literaturas de revisão (SHANGA *et al.*, 2010; STADINIK; FREITAS 2014; SHUKLA *et al.*, 2016) as carragenas são excelentes eliciadores não apenas do metabolismo secundário das plantas, mas também de seus metabolismos primários (crescimento) (Figura 6). Embora, ainda pouco compreendida as rotas metabólicas e enzimas envolvidas em diversos mecanismos de defesa eliciados pelas carragenas nos vegetais, percebe-se que estes polissacarídeos se apresentam como uma ótima opção para a diminuição de estresses biótico/abióticos e aumento da qualidade de produtos colhidos.

Ducatti *et al.* (2021a, b) mostram, através do uso de carragena em trigo, cevada e milho, o potencial que esses polissacarídeos sulfatados possuem na resposta ao aumento de produtividade, incremento nas qualidades bromatológicas dos grãos colhidos e na diminuição da incidência de micotoxinas nos grãos. Embora ainda não compreendida a ação que as carragenas possuem para o decréscimo no acúmulo de micotoxinas nos grãos, Ducatti *et al.* (2021a, b) propõe algumas teorias que possam estar atreladas a essas questões, sendo: 1) diminuição da incidência de giberela nas espigas, 2) redução do metabolismo fúngico (*Fusarium*) devido a carga de metabólitos secundários de defesa presente nos fotoassimilados do vegetal, principalmente o ácido salicílico; e 3) ação de longa duração das carragenas no metabolismo dos vegetais.

Figura 6 – Mecanismos de defesa, crescimento, rotas metabólicas e enzimas envolvidas na eliciação vegetal com o uso de carragenas.



Extraído e traduzido de Ducatti *et al.* (2021a).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

Os experimentos a campo e laboratoriais foram conduzidos nas áreas experimentais e nos laboratórios de fitopatologia da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), localizada no município de Chapecó – SC (27°06'34"S; 52°40'18"O e altitude de 623m). O solo da área experimental é classificado como sendo um latossolo vermelho distroférico típico e a área está localizada em uma região que, de acordo com a classificação climática de Köppen, apresenta clima mesotérmico úmido com verão quente (Cfa). Na Tabela 1 abaixo é apresentada as características físico-químicas da área experimental e na Tabela 2 as condições climáticas mensais referentes ao período de condução dos experimentos.

Tabela 1 – Características físico-químicas da área experimental utilizada para a condução dos experimentos. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.

Argila (% p/v)	pH em H ₂ O	P (mg/dm ³)	K (mg/dm ³)	Matéria Orgânica (% p/v)
51,5	5,95	17,3	153,6	3,65
Al (cmolc/dm ³)	Ca (cmolc/dm ³)	Mg (cmolc/dm ³)	Al + H (cmolc/dm ³)	CTC pH7,0 (cmolc/dm ³)
0,0	3,25	0,55	2,71	13,8

Tabela 2 – Condições climáticas mensais da área utilizada para a condução dos experimentos. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.

	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura mínima média (° C)	12,84	10,56	12,29	15,25	16,06
Temperatura máxima média (° C)	20,85	20,30	22,99	26,52	28,60
Umidade relativa média (%)	78,51	73,61	65,62	65,61	59,92
Precipitação mensal (mm)	333,00	128,60	117,80	40,20	19,20

Dados obtidos diretamente da estação meteorológica da EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.

3.2. DESENHO EXPERIMENTAL

Os experimentos foram conduzidos no esquema de blocos totalmente casualizados (DBC) com seis tratamentos, quatro repetições e duas cultivares (TBIO Audaz e TBIO Noble). Para cada cultivar considerou-se um experimento isolado (cultivares não foram tratadas como fatorial). As parcelas experimentais possuíam tamanho de 1,0 x 5,0 metros com linhas espaçadas em 20 cm e foram dispostas com espaçamento de 80 cm entre parcelas. A área recebeu aplicação de 62 kg ha⁻¹ de

ureia, 100 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK 09-33-12 e 16 kg ha⁻¹ de KCl no momento da semeadura. Aos 30 e 40 dias após a emergência, a área recebeu aplicações de 100 kg ha⁻¹ de ureia (a lanço). A densidade final considerada e utilizada para o cultivo foi de 330 plantas m⁻². A semeadura ocorreu no dia 29 de junho de 2020, a germinação foi registrada no dia 08 de julho e a colheita foi realizada no dia 22 de outubro do mesmo ano.

Na Tabela 3 abaixo encontra-se a descrição dos tratamentos utilizados para a condução dos experimentos.

Tabela 3 – Descrição dos tratamentos, doses e épocas de aplicação para a condução dos experimentos. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.

Tratamento*	Algomel Push®1**	Bion®1	Fungicida ²	Inseticida ³
Controle negativo (CN)	-	-	-	
Controle positivo (CP)	-	-		
ASM ⁴	-	25 g ha ⁻¹	Trifloxystrobin + Prothioconazole (500 mL ha ⁻¹)	Imidacloprid + Bifenthrin (200 mL ha ⁻¹)
Carragena 0,5	0,5 L ha ⁻¹	-		
Carragena 1,0	1,0 L ha ⁻¹	-		
Carragena 1,5	1,5 L ha ⁻¹	-		

¹aplicação dos eliciadores ocorreu no início da fase de alongação, em mistura com o fungicida utilizado.

²foram realizadas um total de 04 aplicações de fungicidas seguindo os princípios ativos e dosagens descritas na tabela. As aplicações ocorreram no início do perfilhamento, início do alongamento, início do emborrachamento e início do florescimento. O fungicida utilizado foi Fox®. Para todas as aplicações utilizou-se 500 mL.ha⁻¹ de Aureo®.

³foram realizadas 02 aplicações de inseticidas durante o ciclo da cultura, aos 32 e 47 dias após emergência. O inseticida utilizado foi Galil® SC. Para todas as aplicações utilizou-se 500 mL.ha⁻¹ de Aureo®.

⁴Acibenzolar-S-Metil (Bion®)

*o controle de ervas daninhas foi feito de forma manual.

**Algomel PUSH® é um produto comercial a base de algas vermelhas produzido com algas da espécie *Solieria chordalis*.

3.3. VARIÁVEIS ANALISADAS

As variáveis analisadas foram:

3.3.1. Parâmetros fisiológicos

Todos os parâmetros fisiológicos foram mensurados 1, 8, 15 e 22 dias após a aplicação dos eliciadores (DAA). Para a avaliação dos parâmetros fisiológicos utilizou-se um Infra-Red Gas analyzer (IRGA – Lcpro-SD Serial N° 33961 – ADC BioScientific Ltd, Hoddesdon, UK) ajustado para saturação de luz constante (1500 µmol m⁻² s⁻¹) (LICOR, 2015). Todas as medições foram realizadas entre as 8 – 12 horas da manhã. Os parâmetros diretamente analisados pelo IRGA foram:

- Condutância estomática ($g_s - \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
- Concentração interna de CO_2 ($C_i - \mu\text{mol mol}^{-1}$)
- Transpiração ($E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$),
- Taxa Fotossintética Líquida ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Através desses parâmetros foi possível o cálculo da:

- Eficiência instantânea de carboxilação ($A C_i^{-1}$) ($E_iC - [(\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}]$)
- Eficiência do uso da água ($A E^{-1}$) ($WUE - [(\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}]$).

Para as avaliações dos parâmetros analisados pelo IRGA utilizou-se 3 plantas (medições) por parcela. Cada análise foi considerada válida apenas quando da estabilização das leituras realizadas pelo equipamento após a clipagem das folhas (tempo médio de 2 minutos por leitura).

Além desses parâmetros, utilizou-se um leitor de clorofila (atLEAF PLUS Chlorophyll meter – Wilmington, Delaware, USA) para a avaliação do índice SPAD (análise não destrutiva do teor de clorofila das plantas), realizando-se 10 medições por parcela durante cada avaliação. Todas as medições, tanto para o IRGA quanto para o clorofilômetro, foram realizadas apenas com plantas da linha central de cada parcela e desconsiderando-se as bordaduras. Para todas as análises utilizou-se a última folha totalmente distendida.

3.3.2. Parâmetros morfológicos

A altura de dez plantas, de forma aleatória da linha central de cada parcela, foi checada 1, 8, 15 e 22 DAA. A medição da altura das plantas foi realizada com a utilização de uma régua convencional com um metro de comprimento (mesma régua para todas as medições). Para a quantificação da altura de plantas, utilizou-se sempre a última folha totalmente distendida. O índice de área foliar foi medido apenas aos 14 DAA amostrando-se uma área de $0,02 \text{ m}^2$ de cada parcela e realizando-se a leitura da área foliar através de um medidor de área foliar (LI-3100 Area Meter – LI-COR, inc. Lincoln, Nebraska, USA).

3.3.3. Parâmetros bioquímicos

Foram analisadas as atividades enzimáticas das enzimas CAT, SOD e FAL as 0, 24, 48, 96 e 192 horas após aplicação dos eliciadores (HAA) seguindo as metodologias propostas por Monteiro & Lima (2017a, b, c). Para cada amostragem de tecido vegetal foi coletado um total de 3 folhas totalmente distendidas, envoltas por papel alumínio (escuro total), acondicionadas em nitrogênio líquido e posteriormente mantidas em ultra-freezer até a extração e quantificação das atividades enzimáticas.

Para a extração da enzima catalase preparou-se tampão fosfato de potássio 100 mM, pH 7,5, com adição de 1,3 mM ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA), 3 mM dithiothreitol (DTT) e 0,3 g L⁻¹ de polivinilpolipirrolidona (PVPP) (solução extratora). Para a determinação da atividade enzimática foi preparado solução tampão fosfato de potássio 100 mmol L⁻¹, pH 7,5 sem adição de EDTA, DTT e PVPP. Preparou-se também solução de 50 mM de peróxido de hidrogênio (H₂O₂). Uma amostra de tecido vegetal de aproximadamente 100 mg, mantida em ultra freezer até determinação da atividade enzimática, foi macerada em nitrogênio líquido e adicionada de 2,5 mL de solução tampão de fosfato (solução extratora), e posteriormente centrifugada por 25 minutos a 10.000 rpm (centrífuga refrigerada a 4 °C (SIGMA 3-18KS). Após centrifugação, realizou-se as leituras da atividade enzimática em espectrofotômetro (240 nm) por um minuto (leituras realizadas em cubetas de quartzo com intervalos de 10 segundos) (Analytik Jena SPECORD 200 PLUS). Todo o processo de extração e leitura foi realizado com baixa incidência luminosa para evitar perda da atividade enzimática. A preparação das cubetas para leitura da atividade enzimática seguiu a descrição apresentada no Quadro 1:

Quadro 1 – Preparação das cubetas para determinação da atividade da enzima catalase em espectrofotômetro a 240 nm. Monteiro; Lima (2017a).

<u>Branco da solução</u>	<u>Amostra</u>
<ul style="list-style-type: none"> • 1950 µL de tampão de determinação • 300 µL de tampão de extração • 750 µL de solução de H₂O₂ 	<ul style="list-style-type: none"> • 1950 µL de tampão de determinação • 150 µL de tampão de extração • 750 µL de solução de H₂O₂ • 150 µL de extrato enzimático

Após leitura das amostras, o cálculo realizado para determinação da atividade da CAT por mg de matéria fresca foi determinado pelo coeficiente de extinção do peróxido de hidrogênio (39,4 mM.cm⁻¹), sendo:

$$CAT \text{ (mmol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg MF}^{-1}\text{)} = \frac{\left\{ \left[\frac{(Li - Lf)}{t} \right] \times \frac{Vc}{1000} \right\} \times Vp}{Pa}$$

onde, Li é a leitura inicial da absorbância, Lf é a leitura final da absorbância, t é o tempo em minutos da leitura da absorbância, Ce é o coeficiente de extinção do peróxido de hidrogênio, Vc é o volume da cubela (mL), Vp é o volume pipetado do extrato enzimático (µL) e Pa é o peso da amostra utilizada para maceração (mg).

Para a extração da enzima superóxido dismutase utilizou-se o mesmo tampão de extração utilizado para a extração da enzima catalase (mesmos procedimentos). A solução de determinação para essa enzima foi produzida preparando-se uma solução tampão de fosfato de sódio 52,5 mM, pH 7,8. Além dessas soluções foram preparadas soluções de 0,4 mM cloreto de azul nitrotetrazólio (NBT), solução de 12,6 mM ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA), solução de 20 µM riboflavina e solução de 60 mM metionina. Uma amostra de tecido vegetal de aproximadamente 100 mg, mantida em ultra freezer até determinação da atividade enzimática, foi macerada em nitrogênio líquido e adicionada de 2,5 mL de solução tampão de fosfato (solução extratora), e posteriormente centrifugada por 25 minutos a 10.000 rpm (centrífuga refrigerada a 4 °C (SIGMA 3-18KS)). Após centrifugação, realizou-se as leituras da atividade enzimática em espectrofotômetro a 560 nm (leituras realizadas em cubetas de quartzo) (Analytik Jena SPECORD 200 PLUS). Todo o processo de extração e leitura foi realizado com baixa incidência luminosa para evitar perda da atividade enzimática. A preparação das cubetas para leitura da atividade enzimática seguiu a descrição apresentada no Quadro 2:

Quadro 2 – Preparação das cubetas para determinação da atividade da enzima superóxido dismutase em espectrofotômetro a 560 nm. Monteiro; Lima (2017b).

<u>Branco da solução</u>	<u>Branco da amostra</u>	<u>Amostra</u>
<ul style="list-style-type: none"> • 2050 µL de tampão de determinação • 250 µL de NBT • 200 µL de EDTA 	<ul style="list-style-type: none"> • 2000 µL de tampão de determinação • 50 µL de extrato enzimático <ul style="list-style-type: none"> • 250 µL de NBT 	<ul style="list-style-type: none"> • 2000 µL de tampão de determinação • 50 µL de extrato enzimático <ul style="list-style-type: none"> • 250 µL de NBT

<ul style="list-style-type: none"> • 250 µL de Metionina • 250 µL de Riboflavina <p>Após a preparação das amostras, as mesmas foram colocadas sob ação da luz por 10 minutos antes das leituras.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 200 µL de EDTA • 250 µL de Metionina • 250 µL de Riboflavina <p>Amostras não foram expostas a ação da luz.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 200 µL de EDTA • 250 µL de Metionina • 250 µL de Riboflavina <p>Após a preparação das amostras, as mesmas foram colocadas sob ação da luz por 10 minutos antes das leituras.</p>
--	--	--

Após leitura das amostras (Branco da solução, Branco da amostra e Amostra) o cálculo realizado para determinação da atividade de cada unidade de SOD por mg de matéria fresca foi realizado calculando-se a atividade enzimática necessária para inibição de 50% da fotorredução do NBT, sendo:

$$SOD (U SOD mg MF^{-1}) = \frac{\left(\frac{Lbs - (La - Lba)}{Lbs} \times 100\right) \times Ve}{\left(\frac{Lbs - (La - Lba)}{Lbs} \times 0,5\right) \times Pa}$$

onde, Lbs é a leitura do branco da solução, La é a leitura da amostra, Lba é a leitura do branco da amostra, Ve é o volume do extrato, e Pa é o peso da amostra utilizada para maceração (mg).

A extração da enzima fenilalanina amônia liase foi realizada preparando-se uma solução extratora de tampão borato de sódio 0,1 M, pH 8,8 acrescida de 5 %p/v de polivinilpirrolidona (PVP) e 1,2 mL L⁻¹ de β-mercaptoetanol. A solução de determinação foi preparada utilizando-se borato de sódio para a obtenção de um tampão borato de sódio 0,2 M, pH 8,8. A solução de determinação não recebeu a adição de PVP e β-mercaptoetanol. O pH das soluções de extração e determinação foi ajustado para 8,8 com a utilização de ácido clorídrico (HCl – PA). Foram preparadas soluções de 0,1 M fenilalanina e ácido clorídrico 6 N para a determinação da atividade da FAL. Uma amostra de tecido vegetal de aproximadamente 50 mg, mantida em ultra freezer até determinação da atividade enzimática, foi macerada em nitrogênio líquido e adicionada de 5 mL de solução tampão borato de sódio (solução extratora), e posteriormente centrifugada por 25 minutos a 12.000 rpm (centrífuga refrigerada a 4 °C (SIGMA 3-18KS). Após centrifugação, realizou-se as leituras da atividade

enzimática em espectrofotômetro a 290 nm (leituras realizadas em cubetas de quartzo) (Analytik Jena SPECORD 200 PLUS). Todo o processo de extração e leitura foi realizado com baixa incidência luminosa para evitar perda da atividade enzimática. A preparação das cubetas para leitura da atividade enzimática seguiu a descrição apresentada no Quadro 3:

Quadro 3 – Preparação das cubetas para determinação da atividade da enzima fenilalanina amônia liase em espectrofotômetro a 290 nm. Monteiro; Lima (2017c).

<u>Branco da solução</u>	<u>Branco da amostra</u>	<u>Amostra</u>
<ul style="list-style-type: none"> • 1 mL tampão borato 0,1M • 1 mL tampão borato 0,2M • 1 mL de Fenilalanina 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 mL da amostra • 2 mL tampão borato 0,2M 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 mL da amostra • 1 mL tampão borato 0,2M • 1 mL de Fenilalanina
<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade da existência de um branco da amostra para cada amostra • Aquecimento da fenilalanina antes da preparação dos tubos (± 30 °C) • Levantar os tubos para banho-maria (36 °C) e apenas após 5 minutos acrescentar a fenilalanina • Manter os tubos em banho-maria por uma hora a 36 °C • Acrescentar 0,1 mL da solução de HCl 6N para parar as reações após o período de banho-maria • Agitar e realizar as leituras 		

Após leitura das amostras (Branco da solução, Branco da amostra e Amostra) o cálculo realizado para determinação da atividade da FAL foi determinado utilizando-se o coeficiente de extinção molar da fenilalanina ($10^4 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), através da equação:

$$FAL (\text{mmol min}^{-1} \text{ mg MF}^{-1}) = \left\{ \frac{\left[\frac{(La - Lba) - Lbs}{t} \right] \times \left[\frac{V}{v \times d \times Cef} \right]}{Pap} \right\} \times 1000$$

onde, La é a leitura da amostra, Lba é a leitura do branco da amostra, Lbs é a leitura do branco da solução, t é o tempo de reação em banho-maria (em minutos), V é o volume total da cubeta (em mL), v é o volume do extrato enzimático pipetado (em mL), d é a distância ótica percorrida (em cm – cubeta), Cef é o coeficiente de extinção molar da fenilalanina a 290 nm e Pap é o peso da amostra pipetada (g).

3.3.4. Parâmetros fitossanitários

A incidência das doenças foliares oídio (*Blumeria graminis*), mancha-amarela (*Drechslera tritici-repentis*), mancha-marrom (*Bipolaris sorokiniana*) e ferrugem (*Puccinia triticina*) foram analisadas de 14 em 14 dias com leituras iniciando-se no início do perfilhamento e finalizando no início do florescimento, contabilizando um total de 4 leituras. Outras duas leituras foram realizadas durante os estágios fenológicos reprodutivos de desenvolvimento 73 e 83 (TBIO Audaz) e 77 e 85 (TBIO Noble) de acordo com a escala proposta por Zadocks *et al.* (1974). Um total de 6 leituras foram realizadas para a verificação da incidência de doenças foliares. Para essas análises foram checadas 10 plantas da fileira central por parcela e atribuída uma porcentagem de incidência em relação a área foliar total das plantas analisadas (DOMICIANO *et al.*, 2013; ALVES *et al.*, 2015). Após as avaliações, foram realizadas médias de incidência para cada doença em cada parcela durante cada avaliação, e determinada a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) para a doença de oídio.

A incidência de giberela (*Fusarium graminearum*) também foi contabilizada iniciando-se a partir do início do florescimento, e durante os estágios fenológicos reprodutivos 73 e 83 (TBIO Audaz) e 77 e 85 (TBIO Noble) de acordo com a escala proposta por Zadocks *et al.* (1974). A incidência de giberela foi analisada checando-se 30 espigas aleatórias da fileira central dentro de cada parcela (ZOLDAN, 2008; STACK; MCMULLEN, 2011). Devido ao ano extremamente seco, a eficácia de controle não foi contabilizada. As análises de doenças foliares e de giberela foram todas realizadas entre as 8 e 10 horas da manhã.

3.3.5. Parâmetros agronômicos de produtividade

Foram analisados o peso de mil sementes (PMS), o peso hectolitro (PH) e a produtividade total (kg.ha⁻¹) dos tratamentos realizados.

O PMS foi obtido contando-se e pesando-se 1000 sementes por parcela experimental (Sanick ESC 2008). O PH foi estimado utilizando-se um recipiente de volume conhecido e extrapolando o valor obtido para volume de um hectolitro. Conforme equação abaixo:

$$PH = \frac{100 \times Pi}{Vi}$$

onde: 100 equivale ao hectolitro (100 litros), P_i refere-se ao peso da amostra em volume conhecido, e V_i refere-se ao volume do recipiente (em litros) utilizado para pesar a amostra.

A produtividade total foi estimada colhendo-se 2,4 m² da parcela (descartou-se as bordaduras), pesando-se o volume colhido e extrapolando o valor obtido para um hectare. Conforme a equação:

$$Produtividade (kg ha^{-1}) = \frac{10.000 \times P_i}{2,4}$$

onde: P_i refere-se ao peso colhido na parcela (em quilos).

Para o cálculo de todos os parâmetros agrônômicos de produtividade o peso das amostras foi ajustado para umidade padrão de 13%.

3.3.6. Parâmetros qualitativos (qualidade industrial e micotoxicológica)

Um total de 200 g de grãos de cada parcela foi enviada ao laboratório Pegasus Science para serem analisadas quanto a qualidade industrial. Essas análises foram realizadas para identificação da melhoria da qualidade nutricional dos grãos a partir do uso dos eliciadores. As análises bromatológicas (qualidade industrial) foram realizadas via Near-Infrared Spectrometry (NIRs) para a contabilização da quantidade de proteína bruta (%MS), extrato etéreo (%MS), fibra bruta (%MS), matéria mineral (%MS), fibra em detergente neutro (%MS) e fibra em detergente ácido (%MS). Todas as leituras foram realizadas em duplicata.

A quantificação de DON foi realizada pelo laboratório da Cooperativa Cooperalfa, localizada em Chapecó, SC. As quantificações foram feitas em duplicatas através da utilização de kits ELISA (Enzyme linked immunosorbent assay – Reveal Q+ MAX Biogen®) para quantificação de DON entre 50 e 250 µg.kg⁻¹ (ppb).

3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os dados coletados durante a execução do projeto foram primeiramente submetidos a análise de outliers (com seus respectivos descartes) e posteriormente a análise de normalidade (Shapiro-Wilk Test). Quando da observância de uma

distribuição anormal, os dados foram tratados (tratamentos descritos nas tabelas e figuras quando ocorrido) para aquisição de uma distribuição normal.

Os dados foram submetidos à análise de variância (One-way-ANOVA) e suas médias, quando significativas (5%) foram comparadas pelo método estatístico Tukey's HSD (nível de confiança de 5%). Regressões lineares de Pearson foram utilizadas para se verificar a correlação entre a produtividade e todas as demais variáveis analisadas nesse trabalho. As diferentes cultivares utilizadas nesse trabalho não entraram como um fator de interação na análise estatística por apresentarem diferentes características que tornaria injusta a comparação entre elas, por exemplo, diferentes graus de tolerância/resistência às doenças foliares. Dessa forma, cada cultivar foi analisada como um experimento isolado.

Testes polinomiais de correlação foram realizados para a identificação da interferência entre diferentes fatores. Todas as análises estatísticas do trabalho em questão foram realizadas no software JASP 0.13.1 (RRID:SCR_015823).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parâmetros fisiológicos

Não foram encontradas diferenças estatísticas dentre os parâmetros fisiológicos analisados para nenhuma das cultivares. Possivelmente isso se deve ao ano extremamente seco que inferiu no desenvolvimento e produtividade do trigo na região em que os experimentos foram desenvolvidos. De acordo com os dados climatológicos colhidos na estação meteorológica da EPAGRI, a precipitação total ocorrida entre o início do mês de julho ao final do mês de outubro foi de apenas 305,80 mm (Tabela 2), muito abaixo do ideal para o desenvolvimento da cultura (GUERRA *et al.*, 2003).

Na Tabela 4, abaixo, encontram-se os valores de p (probabilidade de significância) referentes a condutância estomática (G_s), concentração interna de CO_2 (C_i), transpiração (E), taxa fotossintética líquida (A), eficiência instantânea da carboxilação (E_iC) e eficiência do uso da água (WUE) para as leituras realizadas 1, 8, 15 e 22 DAA nas cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble.

Tabela 4 – Valores de p referentes a condutância estomática (G_s – $mol\ m^{-2}\ s^{-1}$), concentração interna de CO_2 (C_i – $\mu mol\ mol^{-1}$), transpiração (E - $mmol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$), taxa fotossintética líquida (A - $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$), eficiência instantânea da carboxilação (E_iC – $A\ C_i^{-1}$) e eficiência do uso da água (WUE – $A\ E^{-1}$) para as cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble aos 1, 8, 15 e 22 DAA. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.

Cultivar	Parâmetros analisados	Valor de $p^{1,2,3}$			
		1 DAA	8 DAA	15 DAA	22 DAA
TBio Audaz	C_i	0.979	0.227	0.207	0.353
	E	0.642	0.625	0.824	0.999
	G_s	0.986	0.460	0.411	0.949
	A	0.998	0.153	0.223	0.919
	E_iC	0.905	0.120	0.153	0.877
	WUE	0.574	0.838	0.813	0.987
TBio Noble	C_i	0.833	0.444	0.369	0.822
	E	0.994	0.888	0.966	0.727
	G_s	0.640	0.433	0.362	0.433
	A	0.655	0.602	0.195	0.555
	E_iC	0.685	0.585	0.311	0.706
	WUE	0.971	0.901	0.829	0.814

¹para os valores de cada leitura para cada parâmetro analisado checar os apêndices A e B.

²Para as médias gerais da atividade enzimática, visualizar o apêndice C.

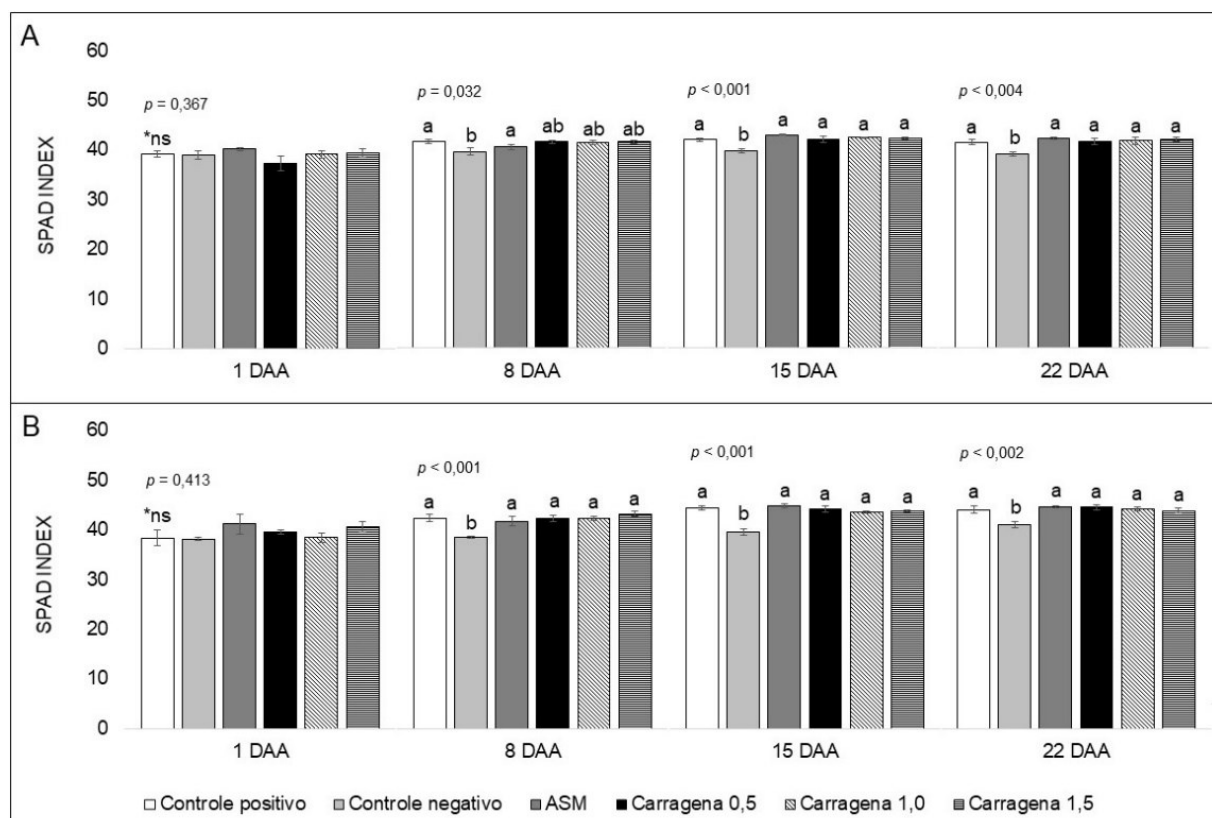
³Valores de p em relação a análise de variância (5%).

De acordo com a revisão realizada por Moreno-Pérez *et al.* (2020) sobre os aspectos que influenciam de forma positiva ou negativa a eliciação vegetal, os autores

abordam que a concentração da molécula eliciadora utilizada nas caldas de aplicação, o tipo de molécula sendo utilizada, as frequências de eliciações, o período de aplicação do eliciador, dentre outros fatores, como sendo extremamente importantes para a eficiência da eliciação e a obtenção de resultados promissores. Ainda de acordo com esses autores, a eliciação vegetal caracteriza-se por ser uma preparação (*priming*) das plantas contra algum agente estressante que futuramente possa vir a causar danos a elas, dessa forma, a eliciação tende a funcionar muito melhor quando realizada antes da incidência do estresse.

Nos experimentos realizados para verificação da ação da carragena sob o desenvolvimento e melhoria dos mecanismos primários e secundários do trigo, a aplicação dos eliciadores (carragena e ASM) ocorreu no início do estágio de alongamento vegetal (Tabela 3), muito após o início da incidência de estresses sobre as plantas, principalmente o estresse hídrico (Tabela 2), o que pode ter levado a uma supressão da ação desses eliciadores sobre os vegetais e pode explicar os resultados obtidos nesse trabalho.

Figura 7 – Valores do índice SPAD para as cultivares TBIO Audaz (A) e TBIO Noble (B) aos 1, 8, 15 e 22 DAA. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020. Barra de erros trazem valores de erro padrão.



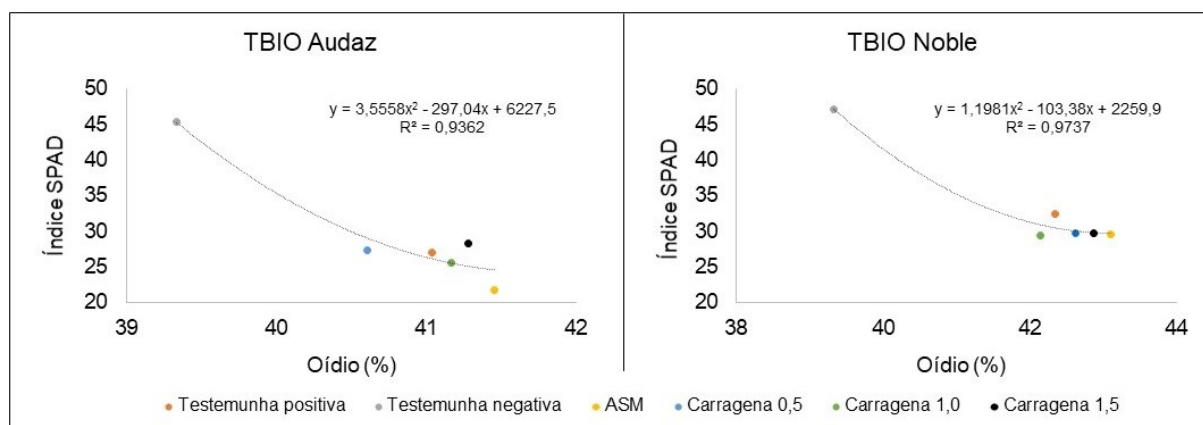
Colunas com diferentes letras dentro de cada período de avaliação diferem estatisticamente entre si de acordo com Tukey's HSD (índice de confiança 5%). ^{ns} não significativo.

Para o índice SPAD, em contrapartida, foi observado uma diferença estatística a partir do 8 DAA. Essa diferença estatística manteve-se constante até a última avaliação, a qual ocorreu 28 DAA (Figura 7).

Ao analisar a Figura 7, pode-se perceber que houve diferença estatística a partir do oitavo dia após aplicação dos eliciadores, entretanto, essa diferença foi constatada apenas para o tratamento controle negativo. O tratamento controle positivo, assim como os tratamentos que receberam eliciadores (ASM e carragena) não se diferenciaram estatisticamente.

Essa diferença observada entre o tratamento controle negativo e os demais tratamentos, pode ter ocorrido devido a maior presença de massa fúngica, principalmente oídio sobre as plantas (Tabela 8), a qual tende a diminuir consideravelmente a concentração de clorofila nas áreas afetadas pelo fungo (manchas cloróticas – bloqueio da incidência solar) e, conseqüentemente a área fotossinteticamente ativa (COSTAMILAN; SCHEEREN, 2006). Para a verificação da existência de uma correlação significativa e positiva entre o índice SPAD (teor de clorofila) e a incidência de oídio, foi realizado uma análise de correlação polinomial de segundo grau entre esses fatores (Figura 8).

Figura 8 – Correlação entre a incidência de oídio e o índice SPAD para as cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble eliciadas com carragena e ASM. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020



Pode-se observar que existe uma correlação muito forte e positiva entre o índice SPAD e a incidência de oídio na cultura do trigo, ou seja, quanto maior for a incidência de oídio sobre a cultura, menores tendem a ser as concentrações de clorofila na folha da cultura. Embora, Saucedo *et al.*, (2015) tenha demonstrado a

eficiência da carragena em aumentar os níveis de clorofila em plantas de *Pinus radiata*, essa tendência não foi observada em plantas de trigo eliciadas com carragena e ASM, para os tratamentos realizados em 2020.

4.2 Parâmetros morfológicos

Diferenças significativas na altura de plantas que receberam os eliciadores foram observadas apenas 22 DAA (última avaliação) (Tabela 5). É conhecido que eliciadores tem a capacidade de ativar mecanismos de crescimento e defesa dos vegetais (SAUCEDO *et al.*, 2015; SHUKLA *et al.*, 2016; DUCATTI *et al.*, 2021a, b), entretanto essa característica não foi observada entre os tratamentos controle positivo e eliciadores (ASM e Carragena).

Tabela 5 – Altura (cm) de plantas de trigo (TBIO Audaz e TBIO Noble) aos 1, 8, 15 e 22 DAA. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.

Cultivar	Tratamento	1 DAA	8 DAA	15 DAA	22 DAA
TBIO Audaz	Testemunha Positiva	39,55 ± 0,31 ^{ns}	55,52 ± 1,24 ^{ns}	67,27 ± 0,75 ^{ns}	74,40 ± 0,69 ^a
	Testemunha Negativa	39,55 ± 1,35	53,45 ± 0,87	62,75 ± 1,87	69,01 ± 1,98 ^b
	ASM	39,82 ± 0,72	57,10 ± 1,38	67,39 ± 1,31	74,78 ± 1,00 ^a
	Carragena 0,5	38,02 ± 1,07	54,91 ± 1,90	66,46 ± 1,30	72,96 ± 1,11 ^{ab}
	Carragena 1,0	40,30 ± 0,25	54,53 ± 0,12	66,67 ± 1,40	73,43 ± 0,29 ^{ab}
	Carragena 1,5	40,47 ± 0,83	58,01 ± 1,01	69,33 ± 1,16	74,90 ± 0,10 ^a
	Valor de <i>p</i>	0,472	0,171	0,062	0,009
TBIO Noble	Testemunha Positiva	36,75 ± 1,56 ^{ns}	52,35 ± 1,43 ^{ns}	66,65 ± 0,08 ^{ns}	72,67 ± 1,14 ^{ab}
	Testemunha Negativa	36,67 ± 0,61	51,00 ± 1,46	60,30 ± 2,33	65,96 ± 2,18 ^b
	ASM	37,45 ± 0,72	51,97 ± 1,15	64,58 ± 1,76	74,32 ± 1,01 ^a
	Carragena 0,5	36,67 ± 0,25	51,76 ± 1,94	64,43 ± 0,84	71,93 ± 1,78 ^{ab}
	Carragena 1,0	38,20 ± 1,64	54,92 ± 0,59	65,16 ± 1,75	74,22 ± 1,89 ^a
	Carragena 1,5	37,15 ± 0,62	52,71 ± 1,00	63,36 ± 0,78	73,31 ± 1,11 ^a
	Valor de <i>p</i>	0,886	0,440	0,155	0,015

¹Para as médias gerais de altura das cultivares, visualizar o apêndice C.

Diferentes letras dentro de cada período de avaliação diferem estatisticamente entre si de acordo com Tukey's HSD (índice de confiança 5%). ^{ns} não significativo.

Novamente, essa não observância dos efeitos diretos que eliciadores propiciam às plantas pode ter ocorrido devido à época de aplicação dos eliciadores no trigo, a qual ocorreu após a incidência e permanência de grande estresse hídrico à cultura (Tabela 2). Da mesma forma, não se observou diferença estatística em relação ao índice de área foliar da cultura 14 DAA dos eliciadores (Tabela 6).

Tabela 6 – Índice de área foliar das cultivares de trigo TBIO Audaz e TBIO Noble aos 14 DAA. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.

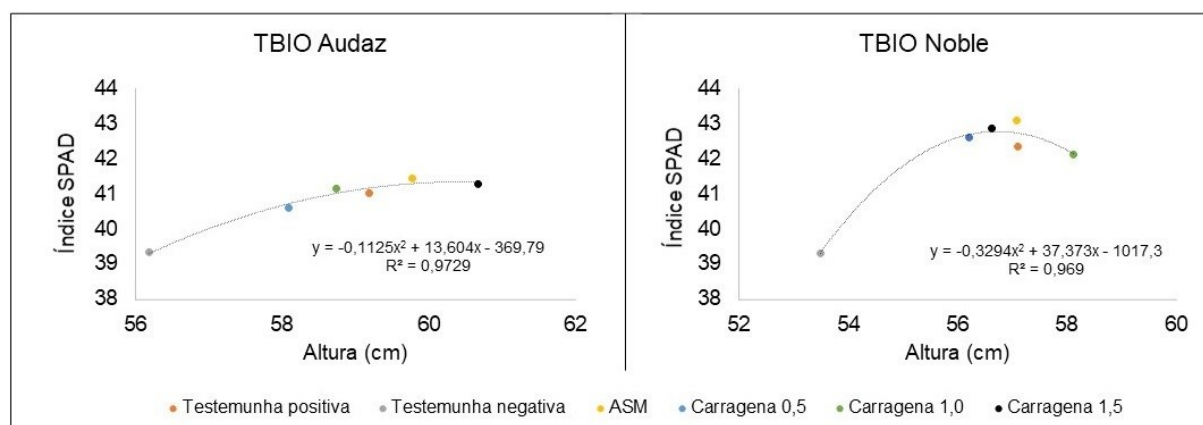
Tratamento	14 DAA	
	TBIO Audaz	TBIO Noble
Testemunha Positiva	828,06 ± 7,10 *ns	919,43 ± 178,86 *ns
Testemunha Negativa	872,54 ± 94,39	902,07 ± 56,85
ASM	961,15 ± 174,16	1.038,67 ± 159,86
Carragena 0,5	881,18 ± 95,95	863,85 ± 156,05
Carragena 1,0	764,43 ± 117,70	1.031,40 ± 164,19
Carragena 1,5	777,55 ± 100,75	1.035,90 ± 76,57
Valor de p	0,830	0,882

Diferentes letras dentro de cada período de avaliação diferem estatisticamente entre si de acordo com Tukey's HSD (índice de confiança 5%). *ns não significativo.

Diferentemente dos resultados observados nesse trabalho, aumentos do índice de área foliar e crescimento de plantas tem disso relatado com a utilização de eliciadores em diferentes culturas por vários autores (SAUCEDO *et al.*, 2015; GORNI *et al.*, 2020).

O aumento da altura das plantas, mostrado na tabela 5, pode ter ocorrido em decorrência da menor incidência de oídio sobre as folhas e o maior índice SPAD apresentado, os quais podem ter favorecido a maior produção de esqueletos carbônicos (maior área fotossinteticamente ativa) e conseqüentemente agregado no crescimento vegetal. Para se verificar essa possível interação, uma análise de correlação polinomial entre a altura de plantas e o índice SPAD é apresentada na Figura 9.

Figura 9 – Correlação entre o índice SPAD e a altura de plantas para as cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble eliciadas com carragena e ASM. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.



Analisando a Figura 9, pode-se observar que o índice SPAD está diretamente correlacionado com a altura de plantas, e que frente a Figura 8, a incidência de oídio fortemente afeta a concentração de clorofila a nível foliar. Dessa forma, pode-se afirmar que a altura de plantas está diretamente correlacionada ao índice SPAD e indiretamente correlacionada a incidência de oídio sobre a cultura.

4.3 Parâmetros bioquímicos

Verificando-se a atividade enzimática das diferentes cultivares testadas, foi observado que a única enzima que apresentou alguma diferença estatística foi a enzima CAT para a cultivar TBIO Noble as 24 e 48 HAA. As enzimas FAL e SOD não tiveram diferenciação em suas atividades quando comparadas com as testemunhas positivas e negativas para as diferentes cultivares testadas (Tabela 7).

Embora haja vários relatos na literatura quanto a utilização dos eliciadores ASM e carragena para a ativação da atividade dessas enzimas em diferentes culturas (MEJÍA-TENIENTE *et al.*, 2010; SANGHA *et al.*, 2011; STADNIK; FREITAS, 2014; SAUCEDO *et al.*, 2015; CHOI *et al.*, 2016; FESSEL *et al.*, 2016; SHUKLA *et al.*, 2016), não foi possível observar essa resposta nos trabalhos desenvolvidos em 2020 na área experimental da EPAGRI. Possivelmente isso deve-se as condições climáticas encontradas durante a safra 2020 (tabela 2) e a época de aplicação dos eliciadores (MORENO-PÉREZ *et al.*, 2020).

Tabela 7 – Atividade das enzimas CAT, FAL e SOD as 0, 24, 48, 96 e 192 HAA dos eliciadores nas cultivares de trigo TBIO Noble e TBIO Audaz. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.

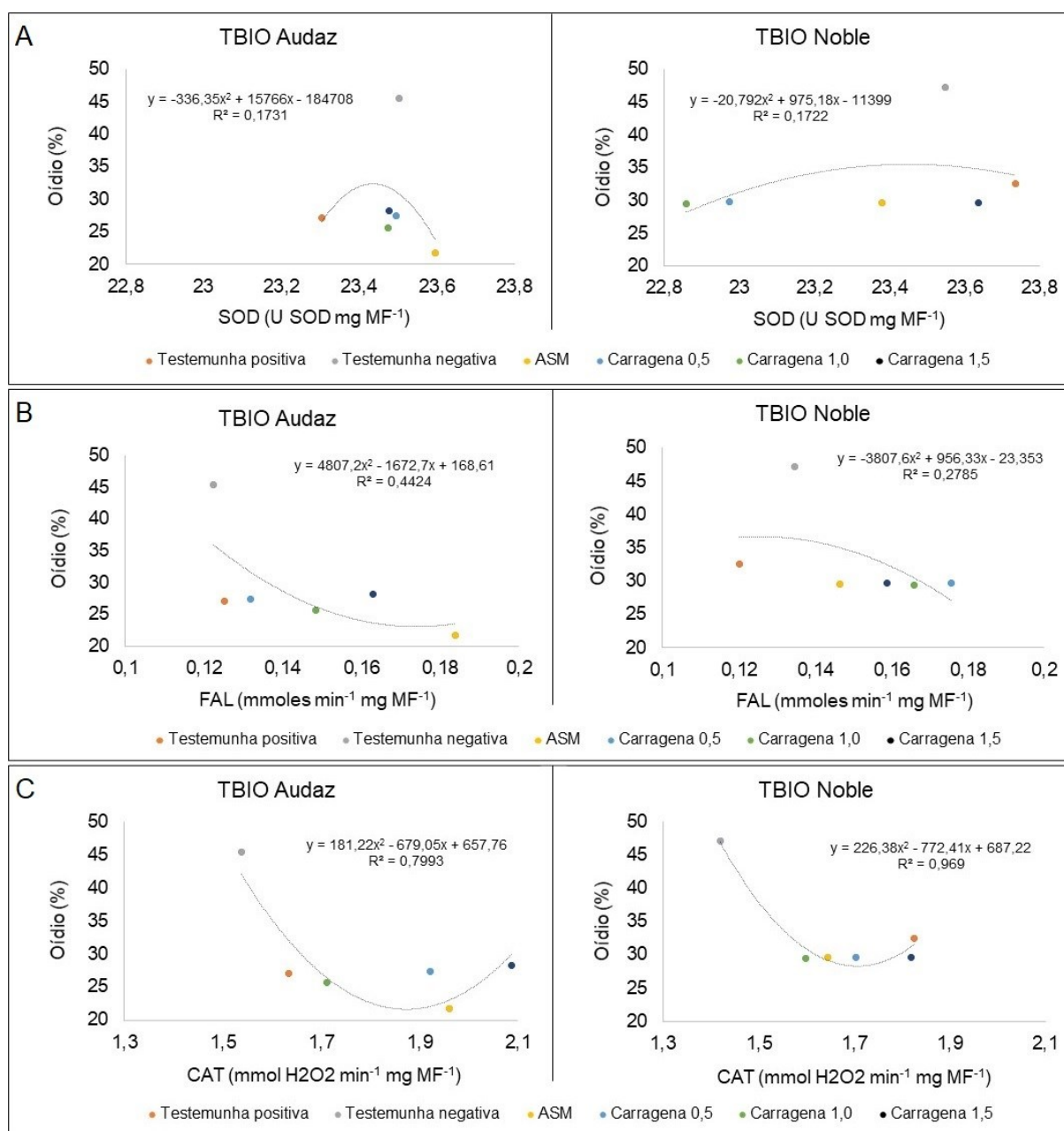
TBIO Audaz ¹					
Tratamento	FENILALANINA AMÔNIA LIASE – FAL (mmoles min ⁻¹ mg MF ⁻¹)				
	0 horas	24 horas	48 horas	96 horas	192 horas
Testemunha Positiva	0,089 ± 0,003 ^{ns}	0,087 ± 0,005 ^{ns}	0,098 ± 0,048 ^{ns}	0,143 ± 0,017 ^{ns}	0,209 ± 0,017 ^{ns}
Testemunha Negativa	0,117 ± 0,007	0,073 ± 0,008	0,113 ± 0,018	0,145 ± 0,031	0,164 ± 0,060
ASM	0,069 ± 0,012	0,175 ± 0,021	0,169 ± 0,032	0,243 ± 0,035	0,263 ± 0,012
Carragena 0,5	0,092 ± 0,018	0,113 ± 0,026	0,141 ± 0,007	0,168 ± 0,027	0,145 ± 0,068
Carragena 1,0	0,135 ± 0,001	0,123 ± 0,015	0,124 ± 0,004	0,137 ± 0,034	0,223 ± 0,014
Carragena 1,5	0,092 ± 0,045	0,149 ± 0,042	0,219 ± 0,033	0,184 ± 0,014	0,171 ± 0,060
Valor de <i>p</i>	0,327	0,073	0,807	0,136	0,460
Tratamento	SUPEROXIDO DISMUTASE – SOD (U SOD mg MF ⁻¹)				
	0 horas	24 horas	48 horas	96 horas	192 horas
Testemunha Positiva	22,502 ± 0,47 ^{ns}	23,425 ± 0,82 ^{ns}	23,254 ± 0,24 ^{ns}	23,410 ± 0,11 ^{ns}	23,930 ± 0,58 ^{ns}
Testemunha Negativa	23,152 ± 0,71	22,908 ± 0,33	23,041 ± 0,67	24,166 ± 0,29	24,247 ± 0,19
ASM	22,724 ± 0,40	22,526 ± 0,15	25,198 ± 0,41	23,725 ± 0,46	23,814 ± 0,29
Carragena 0,5	22,667 ± 0,76	23,802 ± 0,82	23,753 ± 0,42	23,565 ± 0,52	23,687 ± 0,24
Carragena 1,0	23,529 ± 0,71	23,278 ± 0,65	23,920 ± 0,32	23,063 ± 0,61	23,589 ± 0,16
Carragena 1,5	22,733 ± 0,74	23,610 ± 0,50	23,286 ± 0,89	24,129 ± 0,77	23,633 ± 0,50
Valor de <i>p</i>	0,881	0,691	0,216	0,638	0,759
Tratamento	CATALASE – CAT (mmol H ₂ O ₂ min ⁻¹ mg MF ⁻¹)				
	0 horas	24 horas	48 horas	96 horas	192 horas
Testemunha Positiva	0,787 ± 0,02 ^{ns}	1,010 ± 0,06 ^{ns}	1,896 ± 0,45 ^{ns}	1,805 ± 0,29 ^{ns}	2,675 ± 0,31 ^{ns}
Testemunha Negativa	0,908 ± 0,17	0,804 ± 0,17	1,799 ± 0,16	1,779 ± 0,10	2,397 ± 0,54
ASM	0,547 ± 0,03	1,571 ± 0,58	2,302 ± 0,53	2,435 ± 0,16	2,950 ± 0,07
Carragena 0,5	0,699 ± 0,18	1,360 ± 0,24	2,467 ± 0,34	1,957 ± 0,22	3,132 ± 0,22
Carragena 1,0	0,707 ± 0,07	1,463 ± 0,29	2,181 ± 0,38	1,822 ± 0,06	2,381 ± 0,54
Carragena 1,5	1,082 ± 0,04	1,254 ± 0,36	2,360 ± 0,18	1,646 ± 0,30	4,092 ± 0,52
Valor de <i>p</i>	0,066	0,596	0,757	0,133	0,098
TBIO Noble ¹					
Tratamento	FENILALANINA AMÔNIA LIASE – FAL (mmoles min ⁻¹ mg MF ⁻¹)				
	0 horas	24 horas	48 horas	96 horas	192 horas
Testemunha Positiva	0,062 ± 0,020 ^{ns}	0,066 ± 0,010 ^{ns}	0,149 ± 0,012 ^{ns}	0,143 ± 0,008 ^{ns}	0,181 ± 0,031 ^{ns}
Testemunha Negativa	0,082 ± 0,027	0,116 ± 0,009	0,137 ± 0,038	0,171 ± 0,030	0,168 ± 0,052
ASM	0,084 ± 0,017	0,136 ± 0,027	0,164 ± 0,046	0,200 ± 0,014	0,148 ± 0,045
Carragena 0,5	0,095 ± 0,012	0,147 ± 0,025	0,166 ± 0,007	0,241 ± 0,030	0,229 ± 0,020
Carragena 1,0	0,074 ± 0,043	0,154 ± 0,031	0,163 ± 0,029	0,196 ± 0,031	0,243 ± 0,031
Carragena 1,5	0,116 ± 0,010	0,155 ± 0,007	0,161 ± 0,008	0,157 ± 0,017	0,205 ± 0,038
Valor de <i>p</i>	0,709	0,069	0,971	0,113	0,490
Tratamento	SUPEROXIDO DISMUTASE – SOD (U SOD mg MF ⁻¹)				
	0 horas	24 horas	48 horas	96 horas	192 horas
Testemunha Positiva	24,014 ± 0,86 ^{ns}	22,914 ± 0,56 ^{ns}	23,400 ± 0,14 ^{ns}	24,232 ± 0,39 ^{ns}	24,116 ± 0,25 ^{ns}
Testemunha Negativa	22,513 ± 0,34	24,015 ± 0,52	23,714 ± 0,37	23,637 ± 0,10	23,857 ± 0,54
ASM	23,434 ± 0,48	22,972 ± 0,27	23,452 ± 0,86	23,152 ± 0,64	23,890 ± 0,60
Carragena 0,5	22,197 ± 0,37	23,053 ± 0,91	22,862 ± 0,49	22,849 ± 0,41	23,913 ± 0,23
Carragena 1,0	22,201 ± 0,31	22,821 ± 0,98	23,183 ± 1,05	22,383 ± 0,48	23,711 ± 0,41
Carragena 1,5	23,202 ± 0,70	24,229 ± 0,22	24,391 ± 0,07	22,723 ± 0,35	23,644 ± 0,51
Valor de <i>p</i>	0,165	0,581	0,627	0,075	0,986
Tratamento	CATALASE – CAT (mmol H ₂ O ₂ min ⁻¹ mg MF ⁻¹)				
	0 horas	24 horas	48 horas	96 horas	192 horas
Testemunha Positiva	1,059 ± 0,21 ^{ns}	1,159 ± 0,04 ^a	2,309 ± 0,04 ^{ab}	1,673 ± 0,13 ^{ns}	2,924 ± 0,48 ^{ns}
Testemunha Negativa	0,918 ± 0,08	0,784 ± 0,06 ^a	1,430 ± 0,07 ^a	1,817 ± 0,04	2,148 ± 0,32
ASM	0,641 ± 0,04	0,923 ± 0,05 ^a	1,888 ± 0,08 ^{ab}	2,176 ± 0,15	2,597 ± 0,14
Carragena 0,5	0,798 ± 0,17	0,927 ± 0,15 ^a	2,305 ± 0,06 ^{ab}	1,849 ± 0,24	2,636 ± 0,15
Carragena 1,0	0,689 ± 0,08	1,168 ± 0,03 ^{ab}	2,406 ± 0,40 ^{ab}	1,859 ± 0,09	1,873 ± 0,08
Carragena 1,5	1,125 ± 0,15	1,426 ± 0,14 ^b	2,672 ± 0,52 ^b	1,788 ± 0,24	2,082 ± 0,07
Valor de <i>p</i>	0,160	0,006	0,037	0,453	0,065

¹Para as médias gerais da atividade enzimática durante o ciclo todo da cultura, visualizar o apêndice C.

Diferentes letras dentro de cada período de avaliação diferem estatisticamente entre si de acordo com Tukey's HSD (índice de confiança 5%). ^{ns} não significativo.

Entretanto, e devido a observância de diferença na incidência de doenças foliares sobre as cultivares, principalmente de oídio, resolveu-se verificar a correlação entre a atividade dessas enzimas e a incidência de oídio nas diferentes cultivares avaliadas. Essas correlações podem ser encontradas na figura 10 (A, B e C) abaixo.

Figura 10 – Correlação entre a incidência de oídio e a atividade da SOD (A), incidência de oídio e a atividade da FAL (B) e incidência de oídio e a atividade da CAT (C) para as cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020



A única enzima que apresentou atividade correlacionada a incidência de oídio, para ambas as cultivares, foi a catalase (Figura 10-C). A catalase, é a primeira enzima responsável pela degradação de peróxido de hidrogênio em água + oxigênio, e atua principalmente na detoxificação de plantas, fungos e bactérias (MONTEIRO; LIMA, 2017a). É notório que, por ser extremamente tóxico aos fungos, bactérias e plantas, o peróxido de hidrogênio necessita ser degradado em maiores quantidades para que maiores taxas de infecções por fungos ocorram nos vegetais (MAKSIMOV *et al.*, 2013).

Entretanto, não foi essa a tendência observada nos resultados expostos acima. A testemunha negativa apresentou menor atividade da catalase, mesmo assim, foi o tratamento que apresentou a maior incidência de oídio. Embora não se tenha avaliado a quantidade de EROs produzidas a partir da eliciação com ASM e carragena, acredita-se que essa quantidade deva ter sido muito maior nesses tratamentos do que nos tratamentos controles.

A dificuldade da realização de trabalhos de eliciação em campo aberto, principalmente no que tange a avaliação de parâmetros bioquímicos (nesse caso enzimas) e fisiológicos (analisados por IRGA e clorofilômetros) é que ao serem aplicados, os eliciadores induzem uma grande produção de compostos de defesa e sinalizadores bioquímicos dentro dos vegetais. Esses compostos, e principalmente o ácido salicílico e o ácido jasmônico, são convertidos por enzimas em compostos metilados e extremamente voláteis, sendo eles o metil salicilato e o metil jasmonato. Por serem voláteis, esses compostos são expelidos pelas plantas na forma de gases e acabam eliciando plantas, próximas e distantes, que não receberam a aplicação dos eliciadores. Devido a esse motivo, a condução de experimentos a nível de campo com parcelas muito próximas umas das outras, tendem a apresentar grandes ruídos e uma resposta do uso de eliciadores frente às testemunhas, muito baixa (ATTARAN *et al.*, 2009). Isso também pode, de certa forma, explicar os resultados obtidos nesse trabalho, os quais diferiram muito pouco dos tratamentos controle.

4.4 Parâmetros fitossanitários

Sem dúvida nenhuma, e devido ao fungicida escolhido para a condução dos experimentos (trifloxistrobina + prothioconazol), o qual não possui registro para controle de oídio e mancha marrom, e por possuir estrobilurina em sua composição (estimula a síntese de DON por *F. graminearum*), esperava-se observar uma menor eficiência

do mesmo para o controle dessas doenças. A escolha desse fungicida foi realizada a fim de induzir uma maior incidência de doenças foliares e de DON nas cultivares, possibilitando uma maior resposta dos agentes eliciadores contra essas doenças.

Embora as doenças mancha-marrom, mancha-amarela, ferrugem e giberela não tenham sido encontradas em grandes quantidades durante a condução das avaliações, a doença oídio seguiu uma tendência oposta (Tabela 9). O oídio é uma doença que pode causar perdas de até 62% na cultura, não necessita de intenso molhamento/umidade para seu desenvolvimento e desenvolve-se melhor com temperaturas variando entre 10 e 22 °C (COSTAMILAN; SCHEEREN, 2006), exatamente a oscilação de temperatura observada entre os meses de junho a agosto de 2020 nos campos experimentais da EPAGRI (Tabela 2).

Ao analisar a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACDP) para o oídio (Tabela 8), pôde-se verificar que tanto a agressividade quanto o progresso da doença, no geral, foi maior na testemunha negativa em ambas as cultivares. Interessantemente, a cultivar TBIO Audaz, a qual apresenta maior resistência a doença, foi mais afetada que a cultivar mais susceptível TBIO Noble. Na Tabela 8 pode ser encontrada a área de progresso da doença, a velocidade de crescimento da doença e a correlação entre esses dois parâmetros (R^2).

Tabela 8 – Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença para oídio nas cultivares de trigo TBIO Noble e TBIO Audaz. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.

Cultivar	Tratamento	Perf. – Elong.	Elong. – Emborr.	Emborr. – Flor. 1	Flor. 1 – Flor. 2	Flor. 2 – Flor. 3	Equação	R^2
TBIO Audaz	Testemunha Positiva	84,14	173,25	154,00	165,37	351,61	$y = 12,264x - 15,844$	0,72
	Testemunha Negativa	181,44	228,62	318,50	420,00	488,35	$y = 17,964x - 17,438$	0,97
	ASM	77,49	75,95	103,25	111,65	321,19	$y = 11,635x - 18,917$	0,61
	Carragena 0,5	85,40	154,00	152,25	172,79	359,10	$y = 12,865x - 17,623$	0,74
	Carragena 1,0	67,55	121,94	150,5	158,37	360,92	$y = 12,985x - 19,791$	0,71
	Carragena 1,5	84,00	120,19	149,59	201,67	364,59	$y = 14,027x - 20,83$	0,80
TBIO Noble	Testemunha Positiva	103,39	204,54	185,29	229,91	380,24	$y = 13,756x - 15,520$	0,84
	Testemunha Negativa	273,07	260,54	300,30	393,75	469,35	$y = 15,813x - 8,040$	0,90
	ASM	101,85	159,04	150,29	200,62	354,44	$y = 13,190x - 16,450$	0,80
	Carragena 0,5	103,74	183,54	173,95	184,45	371,52	$y = 12,692x - 14,599$	0,74
	Carragena 1,0	111,65	159,95	173,95	198,45	359,52	$y = 12,544x - 14,360$	0,79
	Carragena 1,5	128,59	143,99	176,54	190,05	373,59	$y = 12,697x - 14,661$	0,74

Perf (perfilhamento), Elong (alongamento), Emborr. (emborrachamento), Flor. 1 (início do florescimento), Flor. 2 (Flor. 1 + 7 dias), Flor. 2 (Flor. 1 + 14 dias).

Os eliciadores, em todos os tratamentos com exceção das testemunhas, foram aplicados no início do alongamento, ou seja, um dia após a segunda leitura de doenças. Analisando a incidência de oídio, e mesmo o fungicida não apresentando registro para essa doença, percebe-se a eficiência do mesmo (embora baixa) em controlar essa doença. Embora os eliciadores, para a cultivar TBIO Audaz, tenham apresentado uma melhor redução na incidência do oídio na cultura, não se verificou diferenças estatísticas entre a testemunha positiva e os tratamentos com eliciadores, com exceção ao ASM na fase de emborrachamento (14 DAA) (Tabela 9).

Para as outras doenças, percebeu-se infestações extremamente baixas embora tenha-se detectado diferença estatística na incidência de mancha-amarela no emborrachamento (14 DAA) para a testemunha negativa (maior incidência) e na incidência de mancha-marrom no estágio 83 de desenvolvimento fenológico, onde a testemunha negativa apresentou menor infestação da doença.

Uma tendência muito similar, para o oídio, foi verificada na cultivar TBIO Noble, a qual é muito mais suscetível ao ataque da doença (www.biotrigo.com.br). Para essa cultivar, observou-se que os eliciadores, com exceção da carragena 0,5 no estágio de emborrachamento (14 DAA), tiveram efeito positivo sobre a redução da incidência de oídio na cultivar. Embora, após esses 14 dias, os efeitos dos eliciadores foram idênticos ao efeito do fungicida.

No caso da incidência das demais doenças, percebeu-se diferenças estatísticas apenas para as doenças mancha-marrom e mancha-amarela na fase de emborrachamento e para a ferrugem na fase de alongamento, essa última não associada aos eliciadores.

Tabela 9 – Média (%) de mancha-marrom, mancha-amarela, ferrugem, oídio e giberela nas cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble. EPAGRI, SC, 2020.

TBIO Audaz ¹							
Doença	Tratamento	Perfilhamento	Elongamento	Emborrachamento	Florescimento	Estádio 73	Estádio 83
Oídio	Testemunha Positiva	0	12,025 ± 2,338 ^a	24,750 ± 2,222 ^{ac}	22,000 ± 1,242 ^{ab}	25,250 ± 3,597 ^{ab}	78,467 ± 0,775 ^a
	Testemunha Negativa	0	25,925 ± 2,514 ^b	32,667 ± 2,682 ^c	45,500 ± 2,558 ^c	74,500 ± 0,979 ^c	94,033 ± 0,088 ^b
	ASM	0	11,075 ± 0,686 ^a	10,850 ± 1,609 ^b	14,750 ± 2,420 ^b	17,125 ± 2,641 ^{ab}	77,025 ± 1,235 ^a
	Carragena 0,5	0	12,200 ± 1,942 ^a	22,000 ± 2,255 ^a	21,750 ± 2,570 ^a	27,625 ± 1,161 ^{ab}	80,850 ± 1,148 ^a
	Carragena 1,0	0	9,650 ± 1,763 ^a	17,425 ± 1,645 ^{ab}	21,500 ± 0,736 ^{ab}	23,750 ± 4,728 ^{ab}	81,625 ± 2,115 ^a
	Carragena 1,5	0	12,000 ± 0,551 ^a	17,175 ± 1,538 ^{ab}	21,375 ± 3,023 ^{ab}	36,250 ± 4,922 ^b	82,800 ± 1,875 ^a
	Valor de <i>p</i>	-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mancha-Marrom	Testemunha Positiva	0,45 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,138 ± 0,062 ^{*ns}	3,875 ± 0,948 ^{*ns}	7,900 ± 3,477 ^{*ns}	3,725 ± 1,111 ^a
	Testemunha Negativa	0,45 ± 0,00	0,738 ± 0,738	0,450 ± 0,253	4,000 ± 2,453	1,267 ± 0,842	0,775 ± 0,250 ^b
	ASM	0,45 ± 0,00	0,075 ± 0,032	0,138 ± 0,043	2,500 ± 0,877	4,675 ± 1,436	1,800 ± 0,265 ^{ab}
	Carragena 0,5	0,45 ± 0,00	0,362 ± 0,212	0,175 ± 0,109	3,450 ± 0,504	5,000 ± 1,875	4,150 ± 0,568 ^a
	Carragena 1,0	0,45 ± 0,00	0,152 ± 0,102	0,100 ± 0,041	4,138 ± 1,197	4,183 ± 0,303	3,000 ± 0,592 ^{ab}
	Carragena 1,5	0,45 ± 0,00	0,038 ± 0,024	0,038 ± 0,013	2,700 ± 0,662	4,300 ± 0,962	2,700 ± 0,589 ^{ab}
	Valor de <i>p</i>	-	-	0,246	0,849	0,400	0,020
Mancha-Amarela	Testemunha Positiva	0	0,013 ± 0,013	0,100 ± 0,020 ^a	0,00 ± 0,00	0,087 ± 0,072 ^{*ns}	0,00
	Testemunha Negativa	0	0,090 ± 0,059	0,300 ± 0,068 ^b	0,025 ± 0,014	0,163 ± 0,163	0,013 ± 0,013
	ASM	0	0,163 ± 0,118	0,087 ± 0,031 ^a	0,013 ± 0,013	0,188 ± 0,090	0,138 ± 0,055
	Carragena 0,5	0	0,007 ± 0,007	0,088 ± 0,038 ^a	0,00 ± 0,00	0,175 ± 0,092	0,00
	Carragena 1,0	0	0,00 ± 0,00	0,125 ± 0,032 ^{ab}	0,038 ± 0,024	0,075 ± 0,048	0,100 ± 0,058
	Carragena 1,5	0	0,092 ± 0,040	0,100 ± 0,046 ^a	0,038 ± 0,013	0,100 ± 0,054	0,100 ± 0,041
	Valor de <i>p</i>	-	-	0,014	-	0,922	-
Ferrugem	Testemunha Positiva	0	0,250 ± 0,250 ^{*ns}	0,00 ± 0,00	0	0	0
	Testemunha Negativa	0	1,540 ± 0,837	0,013 ± 0,013	0	0	0
	ASM	0	0,212 ± 0,166	0,013 ± 0,013	0	0	0
	Carragena 0,5	0	0,278 ± 0,245	0,00 ± 0,00	0	0	0
	Carragena 1,0	0	0,225 ± 0,193	0,00 ± 0,00	0	0	0
	Carragena 1,5	0	0,427 ± 0,189	0,025 ± 0,025	0	0	0
	Valor de <i>p</i>	-	0,172	-	-	-	-
Giberela	Testemunha Positiva	0	0	0	0	0	0,833 ± 0,833
	Testemunha Negativa	0	0	0	0	0	0,00
	ASM	0	0	0	0	0	1,665 ± 1,665
	Carragena 0,5	0	0	0	0	0	0,00
	Carragena 1,0	0	0	0	0	0	0,207 ± 0,207
	Carragena 1,5	0	0	0	0	0	0,00
	Valor de <i>p</i>	-	-	-	-	-	-

TBIO Noble ¹							
Doença	Tratamento	Perfilhamento	Elongamento	Emborrachamento	Florescimento	Estádio 73	Estádio 83
Oídio	Testemunha Positiva	0,650 ± 0,00	15,425 ± 1,632 ^a	29,875 ± 2,115 ^c	27,125 ± 1,297 ^a	39,875 ± 5,573 ^a	82,825 ± 0,969 ^a
	Testemunha Negativa	0,650 ± 0,00	39,667 ± 0,441 ^b	37,875 ± 0,515 ^d	43,550 ± 1,860 ^b	70,250 ± 1,963 ^b	91,850 ± 0,569 ^b
	ASM	0,650 ± 0,00	15,200 ± 1,299 ^a	23,375 ± 1,161 ^{ab}	22,125 ± 2,014 ^a	36,500 ± 0,866 ^a	80,450 ± 0,320 ^a
	Carragena 0,5	0,650 ± 0,00	15,475 ± 1,499 ^a	26,875 ± 0,515 ^{ac}	25,500 ± 0,289 ^a	28,500 ± 1,848 ^a	81,950 ± 1,076 ^a
	Carragena 1,0	0,650 ± 0,00	16,600 ± 1,001 ^a	23,500 ± 1,390 ^{ab}	25,500 ± 2,010 ^a	32,500 ± 1,848 ^a	78,525 ± 2,846 ^a
	Carragena 1,5	0,650 ± 0,00	19,025 ± 1,935 ^a	21,225 ± 0,813 ^b	25,875 ± 2,357 ^a	29,733 ± 0,145 ^a	82,175 ± 1,227 ^a
	Valor de p	-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mancha-Marrom	Testemunha Positiva	0,100 ± 0,00	0,450 ± 0,433 ^{*ns}	0,287 ± 0,038 ^{ab}	3,112 ± 0,766 ^{*ns}	8,500 ± 1,242 ^{*ns}	7,450 ± 0,782 ^{*ns}
	Testemunha Negativa	0,100 ± 0,00	0,087 ± 0,059	0,675 ± 0,237 ^b	6,013 ± 1,522	2,288 ± 0,577	1,750 ± 0,171
	ASM	0,100 ± 0,00	0,075 ± 0,075	0,388 ± 0,038 ^{ab}	4,338 ± 1,068	8,600 ± 2,112	3,925 ± 0,938
	Carragena 0,5	0,100 ± 0,00	0,313 ± 0,133	0,138 ± 0,055 ^a	4,263 ± 0,564	8,250 ± 1,515	3,450 ± 0,777
	Carragena 1,0	0,100 ± 0,00	0,375 ± 0,215	0,225 ± 0,078 ^{ab}	3,675 ± 0,715	7,263 ± 1,915	4,550 ± 1,093
	Carragena 1,5	0,100 ± 0,00	0,115 ± 0,072	0,188 ± 0,113 ^{ab}	5,588 ± 1,263	9,325 ± 1,911	3,250 ± 0,763
	Valor de p	-	0,690	0,046	0,373	0,069	0,161
Mancha-Amarela	Testemunha Positiva	0	0,003 ± 0,003	0,163 ± 0,052 ^a	0,038 ± 0,024 ^{*ns}	0,138 ± 0,094 ^{*ns}	0,063 ± 0,037 ^{*ns}
	Testemunha Negativa	0	0	0,487 ± 0,097 ^b	0,038 ± 0,024	0,200 ± 0,200	0,025 ± 0,025
	ASM	0	0,028 ± 0,028	0,175 ± 0,014 ^a	0,025 ± 0,025	0,325 ± 0,325	0,025 ± 0,025
	Carragena 0,5	0	0,038 ± 0,024	0,200 ± 0,068 ^a	0,138 ± 0,055	0,258 ± 0,537	0,075 ± 0,048
	Carragena 1,0	0	0	0,175 ± 0,025 ^a	0,038 ± 0,024	0,500 ± 0,134	0,050 ± 0,050
	Carragena 1,5	0	0	0,133 ± 0,024 ^a	0,013 ± 0,013	0,325 ± 0,214	0,025 ± 0,025
	Valor de p	-	-	0,002	0,102	0,751	0,869
Ferrugem	Testemunha Positiva	0,100 ± 0,00	1,500 ± 1,016 ^a	0,025 ± 0,025	0	0	0
	Testemunha Negativa	0,100 ± 0,00	9,600 ± 1,238 ^b	0,225 ± 0,120	0	0	0
	ASM	0,100 ± 0,00	2,288 ± 0,547 ^a	0	0	0	0
	Carragena 0,5	0,100 ± 0,00	2,450 ± 1,167 ^a	0,050 ± 0,029	0	0	0
	Carragena 1,0	0,100 ± 0,00	1,725 ± 0,659 ^a	0,100 ± 0,071	0	0	0
	Carragena 1,5	0,100 ± 0,00	2,438 ± 0,963 ^a	0,138 ± 0,069	0	0	0
	Valor de p	-	<0,001	-	-	-	-
Giberela	Testemunha Positiva	0	0	0	0	0,415 ± 0,415	0,415 ± 0,415
	Testemunha Negativa	0	0	0	0	0,00	1,665 ± 1,665
	ASM	0	0	0	0	0,00	0,00
	Carragena 0,5	0	0	0	0	0,00	0,00
	Carragena 1,0	0	0	0	0	0,00	0,00
	Carragena 1,5	0	0	0	0	0,00	0,00
	Valor de p	-	-	-	-	-	-

¹Para as médias gerais de incidência de doenças durante o ciclo todo da cultura, visualizar a tabela o apêndice C.

Diferentes letras dentro de cada período de avaliação diferem estatisticamente entre si de acordo com Tukey's HSD (índice de confiança 5%). ^{*ns} não significativo.

Esse efeito de duração de basicamente 2 – 3 semanas que os eliciadores proporcionaram às cultivares, para questão de redução de doenças foliares, é verificado em outros trabalhos que utilizam eliciadores para a ativação de respostas de defesa vegetal e maior proteção das plantas contra agentes estressores (SRIRAM *et al.*, 2003). Diante disso, fica evidente que aplicações mais frequentes de eliciadores tendem a fornecer uma melhor resposta aos vegetais (MORENO-PÉREZ *et al.*, 2020), embora essa afirmação seja contradita por Görlach *et al.* (1995), os quais perceberam uma ação do ASM contra oídio que perdurou até a senescência da cultura e por Ducatti *et al.* (2021a, b), os quais obtiveram respostas altamente significativas quanto a qualidade final de grãos de trigo, cevada e da silagem de milho após a aplicação de carragena no início do desenvolvimento vegetal.

4.5 Parâmetros qualitativos

Em relação a incidência de DON nos grãos colhidos, os resultados desse estudo foram inconclusivos devido as baixas infestações observadas (Apêndice D). Embora acredite-se que a biossíntese de DON esteja correlacionada à mecanismos de defesa fúngica, ativados por fatores estressantes de ordens bióticas e abióticas (PONTS, 2015), as condições climáticas encontradas no ano 2020 (WEGULO, 2012) associadas às baixas infestações de *Fusarium graminearum* (giberela) no trigo (Tabela 8) não permitiram que essas correlações pudessem ser realizadas.

Vários autores demonstram a baixa correlação existente entre a incidência de *Fusarium* nas plantas e o acúmulo de micotoxinas nos grãos (PONTE *et al.*, 2012), entretanto, sabe-se que quanto maior a massa fúngica de *Fusarium* presente na lavoura, no caso da incidência de estresses, maiores serão as sínteses e acúmulos de DON nos grãos produzidos. Isso fica muito bem demonstrado no trabalho de Merhej *et al.* (2010) onde os autores utilizaram-se de variações de pH para estressar o *Fusarium* e induzir maiores produções de DON.

A incidência de um clima extremamente seco associado a utilização de fungicidas, principalmente de estrobilurina, também causam grandes estresses ao desenvolvimento fúngico, o que leva a uma maior produção e acúmulo de DON nos grãos, entretanto, a baixa incidência de *Fusarium* nas parcelas experimentais levaram a baixas incidências de micotoxinas.

Seguindo os pressupostos de Ducatti *et al.* (2021a, b), os quais acreditam que a carragena tenha uma ação de eliciação de longa duração devido ao fato de

possuírem diferentes graus de solubilidade (SHUKLA *et al.*, 2016), e de entregarem respostas extremamente positivas quanto a redução de micotoxinas em grãos de trigo, cevada e silagem de milho, onde plantas receberam a aplicação de carragena no início de seu desenvolvimento, é que se baseou esse trabalho.

Não obstante, a síntese de micotoxinas por fungos filamentosos demanda de grande quantidade de energia e esqueletos carbônicos para ocorrer, dessa forma, o que se esperou observar com a aplicação dos eliciadores, foi uma redução da síntese de micotoxinas pela maior exposição desses fungos a compostos de defesa vegetal, principalmente o ácido salicílico (o qual agiria sob o metabolismo fúngico), e conseqüentemente uma melhoria da qualidade bromatológica dos grãos (maior quantidade de carbono sendo redirecionada aos drenos da planta) e maiores produtividades. Entretanto, isso não foi observado nesse trabalho (Tabela 10).

Tabela 10 – Análise bromatológica (proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra bruta (FB), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA)) dos grãos de trigo das cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.

TBIO Audaz						
Tratamento	PB (%)	EE (%)	FB (%)	MM (%)	FDN (%)	FDA (%)
Testemunha Positiva	12,94 ± 0,39 ^{ns}	2,16 ± 0,01 ^{ns}	3,81 ± 0,03 ^{ns}	1,62 ± 0,02 ^{ns}	14,62 ± 0,43 ^{ns}	4,19 ± 0,23 ^{ns}
Testemunha Negativa	12,85 ± 0,25	2,16 ± 0,00	2,91 ± 0,07	1,63 ± 0,01	14,25 ± 0,25	4,28 ± 0,09
ASM	12,47 ± 0,64	2,17 ± 0,01	2,88 ± 0,20	1,62 ± 0,01	14,03 ± 0,59	4,25 ± 0,41
Carragena 0,5	12,89 ± 0,38	2,17 ± 0,00	3,04 ± 0,08	1,65 ± 0,04	14,97 ± 0,40	4,32 ± 0,23
Carragena 1,0	12,97 ± 0,68	2,17 ± 0,00	2,95 ± 0,10	1,66 ± 0,02	14,07 ± 0,07	4,61 ± 0,10
Carragena 1,5	12,91 ± 0,66	2,17 ± 0,00	2,86 ± 0,06	1,63 ± 0,01	14,68 ± 0,40	4,07 ± 0,10
Valor de <i>p</i>	0,986	0,912	0,796	0,714	0,815	0,687

TBIO Noble						
Tratamento	PB (%)	EE (%)	FB (%)	MM (%)	FDN (%)	FDA (%)
Testemunha Positiva	12,95 ± 0,31 ^{ns}	2,18 ± 0,00 ^{ns}	3,23 ± 0,17 ^{ns}	1,68 ± 0,03 ^{ns}	16,08 ± 0,54 ^{ns}	5,00 ± 0,26 ^{ns}
Testemunha Negativa	13,41 ± 0,25	2,17 ± 0,00	3,28 ± 0,07	1,72 ± 0,02	15,03 ± 0,27	5,08 ± 0,12
ASM	12,70 ± 0,55	2,18 ± 0,00	3,23 ± 0,05	1,70 ± 0,01	16,31 ± 0,47	5,30 ± 0,17
Carragena 0,5	13,26 ± 0,26	2,18 ± 0,01	3,25 ± 0,06	1,72 ± 0,02	15,50 ± 0,58	5,05 ± 0,24
Carragena 1,0	12,76 ± 0,26	2,18 ± 0,01	3,05 ± 0,13	1,67 ± 0,03	15,99 ± 0,13	4,93 ± 0,27
Carragena 1,5	13,18 ± 0,11	2,17 ± 0,00	3,18 ± 0,12	1,76 ± 0,02	14,75 ± 0,56	4,73 ± 0,21
Valor de <i>p</i>	0,577	0,653	0,758	0,280	0,187	0,637

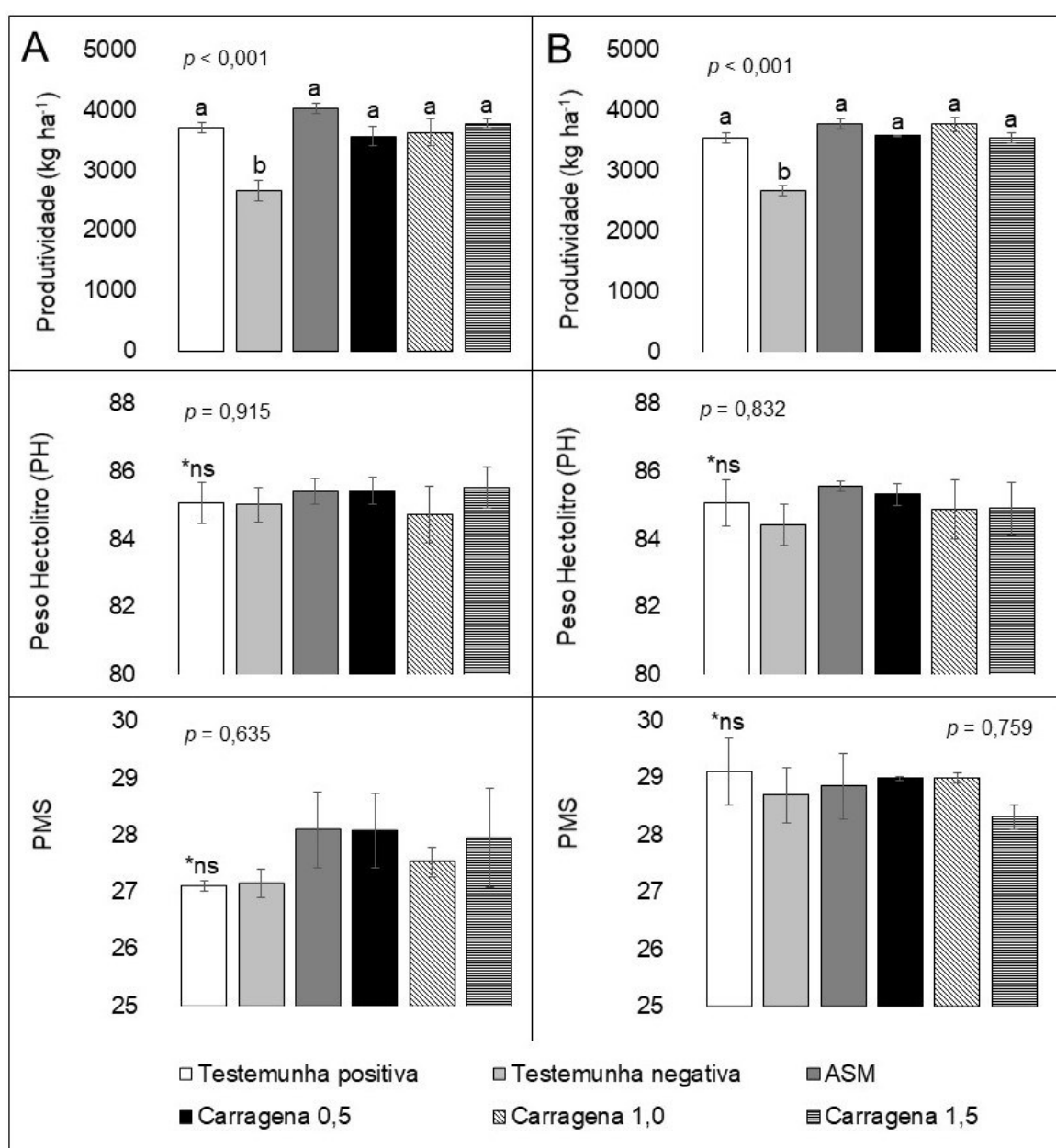
Diferentes letras dentro de cada período de avaliação diferem estatisticamente entre si de acordo com Tukey's HSD (índice de confiança 5%). ^{ns} não significativo.

Analisando a tabela 10, pode-se observar que há uma tendência de melhora dos parâmetros bromatológicos com a utilização dos eliciadores. Entretanto, não foi observada diferenças estatísticas em relação aos tratamentos realizados durante os experimentos. Diferente do exposto por Ducatti *et al.* (2021a) para trigo e cevada, a não observância da melhoria desses aspectos pode-se dever a baixa eficiência da elicitação em decorrência de fatores já expostos anteriormente.

4.6 Parâmetros agrônômicos de produtividade

Um das últimas avaliações realizadas após a colheita dos grãos foi em relação a produtividade das parcelas experimentais. Na Figura 11, pode-se observar a produtividade (sc ha^{-1}), o PMS (g) e o PH dos grãos colhidos para cada um dos tratamentos realizados com as cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble.

Figura 11 – Produtividade (sc ha^{-1}), peso de mil sementes (PMS - g) e peso hectolitro (PH) das cultivares TBIO Audaz (A) e TBIO Noble (B) submetidas aos tratamentos com os eliciadores ASM e carragena. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020



* Diferentes letras dentro de cada período de avaliação diferem estatisticamente entre si de acordo com Tukey's HSD (índice de confiança 5%). *ns não significativo.

Embora a única diferença significativa tenha sido observada em relação à produtividade da testemunha negativa frente aos outros tratamentos, para ambas as cultivares, pôde-se perceber que a utilização de fungicidas associados ou não a eliciadores é fundamental para a obtenção de maiores rendimentos da cultura.

Todos os resultados observados no trabalho levam a crer que a aplicação dos eliciadores foi realizada muito tardiamente e que isso acabou gerando reduções nas respostas desses frente as variáveis analisadas. Além disso, a alta incidência de estresse abiótico resultante da falta de precipitação durante a safra 2020 (Tabela 2) e a realização da aplicação dos produtos em parcelas muito próximas umas das outras foram fatores importantes para a menor resposta dos eliciadores testados.

Diferentes autores relatam ganhos significativos de produtividade nas mais diversas culturas quando eliciadores são utilizados (GÖRLACJ *et al.*, 1995; MEJÍA-TENIENTE *et al.*, 2010; SAUCEDO *et al.*, 2015; GORNI *et al.*, 2020; DUCATTI *et al.* 2021a), embora isso não tenha sido verificado nesse trabalho, acredita-se que quando eliciadores são aplicados em campos abertos e parcelas maiores, onde a interferência entre plantas é menor, e quando eliciadores são aplicados antes de períodos de estresse, os ganhos tendem a ser muito mais significativos.

Mesmo assim, buscou-se entender se algum dos fatores analisados foi responsável pela menor produtividade observada nos experimentos. Para isso realizou-se uma regressão linear de Pearson para identificar quais dos fatores tiveram maiores contribuições para o aumento/redução de produtividade observada nos experimentos. Essa análise pode ser encontrada na tabela 11 abaixo.

Tabela 11 – Correlação entre as variáveis analisadas e a produtividade observada nos tratamentos realizados com as cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.

TBIO Audaz*		TBIO Noble*	
Correlação	Valor de <i>p</i>	Correlação	Valor de <i>p</i>
Produtividade x SPAD	< 0,001	Produtividade x SPAD	0,006
Produtividade x Oídio	< 0,001	Produtividade x Oídio	0,001
Produtividade x Altura	0,015	Produtividade x Altura	0,003
Produtividade x Área foliar	0,944	Produtividade x Área foliar	0,296
Produtividade x Ci	0,072	Produtividade x Ci	0,835
Produtividade x E	0,063	Produtividade x E	0,341
Produtividade x Gs	0,806	Produtividade x Gs	0,086
Produtividade x EiC	0,646	Produtividade x EiC	0,346
Produtividade x A	0,564	Produtividade x A	0,934
Produtividade x WUE	0,344	Produtividade x WUE	0,568
Produtividade x SOD	0,949	Produtividade x SOD	0,453
Produtividade x CAT	0,131	Produtividade x CAT	0,175

Produtividade x FAL	0,123	Produtividade x FAL	0,435
---------------------	-------	---------------------	-------

*para a verificação de todas as interações existentes entre as variáveis, verificar os apêndices E e F. Ci (concentração interna de CO₂), E (transpiração), Gs (condutância estomática), EiC (eficiência instantânea de carboxilação), A (taxa fotossintética líquida), WUE (uso eficiente da água), SOD (superóxido dismutase), CAT (catalase), FAL (fenilalanina amônio liase).

Pode se observar que as variáveis que mais tiveram influência sobre a produtividade, para ambas as cultivares, foram à altura das plantas, a incidência de oídio sobre as folhas e o índice SPAD, todas elas influenciando diretamente a fotossíntese.

Embora um dos objetivos desse trabalho fosse avaliar a melhor dose resposta da carragena (Algomel PUSH) para o trigo, não foi possível definir essa dose frente aos resultados obtidos durante o ano de 2020.

5. CONCLUSÕES

Frente aos resultados colhidos nesse estudo, fica evidente a necessidade da utilização de fungicidas para a obtenção de plantas mais saudas e com maior potencial produtivo. Além disso, pode-se observar que o uso dos eliciadores apresentaram resultados positivos na supressão de algumas doenças foliares como o oídio por exemplo. Não se verificou efeito positivo dos eliciadores sob a altura de plantas, a qualidade industrial dos grãos e a produtividade das cultivares utilizadas nesse estudo, assim como não pôde ser avaliado os efeitos dos eliciadores sob a incidência de giberela e a síntese e acúmulo de DON nos grãos de trigo. Para a atividade enzimática, o uso de carragena (Algomel PUSH 1,5 L ha⁻¹) mostrou-se promissor em relação a atividade da catalase para a cultivar TBIO Noble.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho buscou apresentar os potenciais do uso da carragena e do ASM (eliciadores) para a diminuição da incidência de DON e o aumento dos rendimentos qualitativos e quantitativos do trigo. Embora não tenha sido possível demonstrar esses efeitos para os experimentos realizados em 2020 nos campos de experimentação da EPAGRI, pôde-se, através de outros trabalhos já publicados na literatura, verificar que esses eliciadores apresentam efeitos positivos sobre a produtividade e qualidade das plantas e grãos colhidos

A necessidade de encontrar-se produtos que possibilitem que plantas possam de forma mais efetiva e direta se proteger contra agressões causadas por insetos e patógenos é o “ajuste fino” necessário para alavancarmos as produtividades dos campos agrícolas do Brasil e diminuirmos a dependência de insumos agrícolas que possam trazer uma menor sustentabilidade à atividade (tanto econômica, quanto social e ambiental).

A busca por produtos que possam, principalmente de forma indireta, como é o caso dos eliciadores, proporcionar redução de metabolismo fúngico/bacteriano, e ao mesmo tempo entregar efeitos de longa duração à cultura, é necessária para que consigamos promover uma agricultura mais assertiva e produzirmos alimentos com melhor qualidade e em maior quantidade, aspecto fundamental para alimentarmos a crescente população mundial.

Frente as hipóteses levantadas durante o trabalho, principalmente em relação a ação indireta dos eliciadores sobre o metabolismo fúngico, torna-se necessária uma investigação mais aprofundada do assunto. A principal hipótese desse trabalho é de que a carragena promoveria uma ação de longa duração de eliciação devido aos diferentes graus de solubilidade que apresenta, e que, frente a essa eliciação de longa duração, os efeitos indiretos de metabolitos de defesa vegetal sobre o metabolismo fúngico seriam elevados e reduziriam os níveis de estresse pelo qual fungos seriam submetidos durante o crescimento a nível de campo.

Principalmente o SA, o qual é produzido em grandes quantidades quando vegetais são eliciados. As hipóteses de que o SA teria efeito sobre o metabolismo fúngico, originou-se de observações normais frente aos animais. Quando acometidos por uma dor de cabeça ou situações estressantes, geralmente faz-se a utilização de produtos ricos em ácido acetilsalicílico (aspirina) para aliviar esses fatores estressantes, fazendo com que o corpo volte a um estado normal e a pessoa pare de sentir as agressões que estavam acometendo-a.

Da mesma forma, ao aplicarmos um fungicida sobre os fungos (na lavoura) sem uma total efetivação no controle desses organismos, espera-se que os fungos sobreviventes entrem em um grande estado de estresse (necessita ser investigado) e que sendo organismos sésseis, sua “única” forma de defesa a esses agentes estressores seria a produção de metabolitos de defesa, principalmente as micotoxinas (o veneno dos fungos).

Com a aplicação dos eliciadores, o aumento da produção de SA e a manutenção de altos níveis de SA por longos períodos, teríamos os fotoassimilados rico em SA, e que quando consumidos por patógenos (fonte de alimentação de fungos e bactérias) teria a capacidade, assim como ocorre com os humanos, de diminuir de forma direta os níveis de estresse pelos quais esses organismos estariam sendo submetidos quando da aplicação de fungicidas e/ou durante o normal crescimento dos mesmos (estresses abióticos/bióticos naturais). Dessa forma, e por estarem menos suscetíveis a esses estresses, esses patógenos tenderiam a produzir muito menos micotoxinas (componente de defesa fúngica) e a consumir muito menos carbono das plantas (menor necessidade de carbono devido a redução do metabolismo fúngico), o que levaria a obtenção de maiores produtividades e grãos com maior qualidade bromatológica e micotoxicológica.

Diante disso, encoraja-se, primeiramente em ambientes abertos e posteriormente em ambientes controlados, novos estudos buscando entender melhor os efeitos diretos e indiretos de eliciadores, principalmente da carragena, sobre as plantas e fungos, principalmente o *Fusarium*.

REFERÊNCIAS

- ABITRIGO, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE TIGO. **História do trigo**. 2021. Disponível em: <<https://www.abitrigo.com.br/conhecimento/historia-do-trigo/+&cd=4&hl=en&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em: 31 de mar. de 2021.
- ALVES, G.C.S.; SANTOS, L.C.; DUARTE, H.S.S.; DIAS, V.; ZAMBOLIM, L.; ROCHA, M.R. Escala diagramática para quantificação da ferrugem da folha do trigo. **Multi-Science Journal**, v. 1, p. 128-133, 2015.
- ANVISA, AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da diretoria colegiada – RDC Nº 138, de 8 de fevereiro de 2017**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2017. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/20794568/do1-2017-02-09-resolucao-rdc-n-138-de-8-de-fevereiro-de-2017-20794496>. Acesso em: 15 de out. de 2020.
- ATTARAN, E.; ZEIER, T.E.; GRIEBEL, T.; ZEIER, J. Methyl salicylate production and jasmonate signaling are not essential for systemic acquired resistance in Arabidopsis. **Plant Cell**, v. 21, p. 954-971, 2009.
- BERTHILLER, F.; CREWS, C.; DALL’ASTA, C.; SAEGER, S.D.; HAESAERT, G.; KARLOVSKY, P.; OSWALD, I.P.; SEEFELDER, W.; SPEIJERS, G.; STROKA, J. Masked mycotoxins: a review. **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 57, 2013.
- BIOMIN. **World Mycotoxin Survey 2020**. 17 report. 2021. Disponível em: <https://ahead.biomin.net/hubfs/Downloads/MAG_MTX-Survey-Report_2020_EN.pdf>. Acesso em: 01 de jun. de 2021.
- BRUM, A. L.; HECK, C. R. A Economia do Trigo no Rio Grande do Sul: Breve Histórico do Cereal na Economia do estado. **Análise**, v. 16, n. 1, p. 29-44, 2005.
- BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry and Molecular Biology of Plants**. 2 ed. India: Wiley Blackwell, 2015.
- CHI, Y.H.; KOO, S.S.; OH, H.T.; LEE, E.S.; PARK, J.H.; PHAN, K.A.T.; WI, S.D.; BAE, S.B.; PAENG, S.K.; CHAE, H.B.; KANG, C.H.; KIM, M.G.; KIM, W.-Y.; YUN, D.-J.; LEE, S.Y. The Physiological Functions of Universal Stress Proteins and Their Molecular Mechanism to Protect Plants from Environmental Stresses. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, artigo 750, 2019.
- CHOI, H. W.; KLESSIG, D. F. DAMPs, MAMPs, and NAMPs in plant innate immunity. **BMC Plant Biology**, v. 16, artigo 232, 2016.
- CHOUDHURRY, S.; PANDA, P.; SAHOO, L.; PANDA, S. K. Reactive oxygen species signaling in plants under abiotic stress. **Plant Signaling & Behavior**, v. 8, n. 4, 2013.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica das safras, 2021**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=30>>. Acesso em: 25 de fev. de 2021.

COOPER, R. Re-discovering ancient wheat varieties as functional foods. **Journal of Traditional and Complementary Medicine**, v. 5, p. 138-143, 2015.

COSTAMILAN, L.M.; SCHEEREN, P.L. **Comportamento de genótipos de trigo, oriundos do Paraná, quanto à severidade de oídio, na safra 2006**. Embrapa Trigo: Documento online. 2006. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do65_1.htm>. Acesso em: 30 de jun. de 2021.

DALIO, R.J.D. **Deciphering mechanisms of pathogenicity and resistance induction in the interaction between *Phytophthora* spp. And European beech (*Fagus sylvatica* L.)**. 2013. Dissertation, Technische Universitaet Muenchen

DEL PONTE, E. M.; FERNANDES, J. M. C.; PIROBOM, C. R.; BERGSTROM, G. C. Giberela do Trigo – Aspectos Epidemiológicos e Modelos de Previsão. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, p. 587-605, 2004

DIXON, J.; BRAUN, H.-J.; KOSINA, P.; CROUCH, J. **Wheat Facts and Futures 2009**. Mexico, D.F.: CIMMYT, 2009.

DOMICIANO, G.P.; DUARTE, H.S.S.; MOREIRA, E.N.; RODRIGUES, F.A. Development and validation of a set of standard area diagrams to aid in estimation of spot blotch severity on wheat leaves. **Plant Pathology**, artigo 12150, 2013.

DUCATTI, R.B.D.; ANUNCIÇÃO, C.R.; SARTORI, V.C.; PIVA, M.B.C.; COMUNELLO, L.; TIRONI, S.P. Use of carrageenan for the reduction of deoxynivalenol contamination in wheat and barley kernels. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 9, p. 40-47, 2021a.

DUCATTI, R.D.B.; TIRONI, S. P.; MAZARO, S. M. An algal sulphated polysaccharide capable of reducing mycotoxin biosynthesis by *Fusarium*. **Communications in Plant Science**, v. 11, p.57-59, 2021b.

DUVEILLER, E.; HE, X.; SINGH, P. K. **Wheat blast: An Emerging Disease in South America Potentially Threatening Wheat Production**. In: BONJEAN, A.; VAN GINKEL, M. (Eds.). World Wheat Book, Volume 3. A History of Wheat. Paris: Lavoisier, 2016.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTATS: **Wheat**. 2021. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data>>. Acesso em: 25 de mai. de 2021.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Wheat – The largest primary commodity**. 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/240943/>>. Acesso em: 30 de mai. de 2021.

FAO/WHO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Codex Alimentarius: General Standard for contaminants and toxins in food and feed. CXS 193-1995.** 1995. Disponível em: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/fr/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCODEX%2B193-1995%252FCXS_193e.pdf>. Acesso em: 10 de abril de 2021.

FESEL, P.H.; ZUCCARO, A. β -glucan: Crucial component of the fungal cell wall and elusive MAMP in plants. **Fungal Genetics and Biology**, v. 90, p. 53-60, 2016.

FOSKET, D. E. **Biotic factors regulate some aspects of plant development.** In: FOSKET, D. E. (author). *Plant Growth and Development: A Molecular Approach*, 1 ed. California: Academic Press, 1994.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G.; VAN-EMDEN, H. F. An evaluation of the costs of making specific secondary metabolites: Does the yield penalty incurred by host plant resistance to insects result from competition for resources? **International Journal of Pest Management**, v. 53, p. 175-182, 2007.

GÖRLACH, J.; VOLRATH, S.; KNAUF-BEITER, G.; HENGY, G.; BECKHOVE, U.; KOGEL, K.-H.; OOSTENDORP, M.; STAUB, T.; WARD, E.; KESSMANN, H.; RYALS, J. Benzothiadiazole, a novel class of inducers of systemic acquired resistance, activates gene expression and disease resistance in wheat. **Plant Cell**, v. 8, p. 629-643, 1996.

GORNI, P.H.; PACHECO, A.C.; MORO, A.L.; SILVA, J.F.A.; MORELI, R.R.; MIRANDA, G.R.; PELEGRINI, J.M.; ZANIBONI, C.B.; SPERA, K.D.; JUNIOR, J.L.B.; DA SILVA, R.M.G. Elicitation improves the leaf area, enzymatic activities, antioxidant activity and content of secondary metabolites in *Achillea millefolium* L. grown in the field. **Journal of Plant Growth Regulation**, 2020.

GUERRA, F.G.; RODRIGUES, G.C.; ROCHA, O.C.; EVANGELISTA, W. **Necessidade hídrica no cultivo de feijão, trigo, milho e arroz sob irrigação no bioma cerrado.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 15p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 100).

HENRY, G.; THONART, P.; ONGENA, M. PAMPs, MAMPs, DAMPs and others: an update on the diversity of plant immunity elicitors. **Biotechnology, Agronomy, Society and Environment**, v. 16, p. 257-268, 2012.

KÄRKÖNEN, A.; KUCHITSU, K. Reactive oxygen species in cell wall metabolism and development in plants. **Phytochemistry**, v. 122, p. 22-32, 2015.

KRSKA R; DE NIJS, M.; MCNERNEY, O.; PICHLER, M.; GILBERT, J.; EDWARDS, S.; SUMAN, M.; MAGAN, N.; ROSSI, V.; VAN DER FELS-KLERX, H.J.; BAGI, F.; POSCHMAIER, B.; SULYOK, M.; BERTHILLER, F.; VAN EGMOND, H.P. Safe food and feed through an integrated toolbox for micotoxyn management: the MyToolBox approach. **World Mycotoxin Journal**, v. 9, p. 487-495, 2016.

LEV-YADUN, S.; GOPHER, A.; ABBO, S. The Cradle of Agriculture. **Science**, v. 288, p. 1602-1603, 2000.

LI-COR. **Faster Field Measurements of A_{sat}**. **LI-COR Technical Solutions**. 2015. Disponível em: <<https://www.licor.com/documents/qjedc5txk0g3gcitrfevflhnotgx327.pdf>>. Acesso em: 28 de jun. de 2021.

MAKSIMOV, J.V.; YARULLINA, L.G.; BURKHANOVA, G.F.; ZAIKINA, E.A. Relationship between the aggressiveness and catalase activity of *Septoria nodorum* Berk. in wheat. **Plant Physiology**, v. 40, p. 441-446, 2013.

MARIN, S.; RAMOS, A.J.; CANO-SANCHO, G.; SANCHIS, V. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. **Food and Chemical Toxicology**, v. 60, p. 218-237, 2013.

MATOS, A. K. V. Revolução verde, biotecnologia e tecnologias alternativas. **Cadernos da FUCAMP**, v. 10, p. 1-17, 2010.

MCMULLEN, M.; BERGSTROM, G.; DE WOLF, E.; DILL-MACKY, R.; HERSHMAN, D.; SHANER, G.; SANFORD, D. V. A Unified Effort to Fight and Enemy of Wheat and Barley: Fusarium Head Blight. **Plant Disease**, v. 96, n. 12, p.1712-1728, 2012.

MEJÍA-TENIENTE, L.; TORRES-PACHECO, I.; GONZÁLEZ-CHAVIRA, M. M.; OCAMPO-VELAZQUEZ, R. V.; HERRERA-RUIZ, G.; CHAPA-OLIVER, A. M.; GUEVARA-GONZÁLEZ, R. G. Use of elicitors as an approach for sustainable agriculture. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 54, p. 9155-9162, 2010.

MERHEJ, J.; BOUTIGNY, A.L.; PINSON-GADAIS, L.; RICHARD-FORGET, F.; BARREAU, C. Acidic pH as a determinant of TRI gene expression and trichothecene B biosynthesis in *Fusarium graminearum*. **Food Additive & Contaminants – Part A**, v. 27, p. 710-717, 2010.

MONTEIRO, G.C.; LIMA, G.P.P. Fenilalanina Amônia Liase (FAL). Laboratório de Química e Bioquímica Vegetal – LQBV. Universidade Estadual Paulista – Instituto de Biociências. 2017c. Disponível em <<https://www.ibb.unesp.br/Home/ensino/departamentos/quimicaebioquimica/metodo-da-atividade-da-fenilalanina-amonia-liase-pal.pdf>>. Acesso em: 10 de novembro de 2020.

MONTEIRO, G.C.; LIMA, G.P.P. **Superóxido Dismutase (SOD)**. Laboratório de Química e Bioquímica Vegetal – LQBV. Universidade Estadual Paulista – Instituto de Biociências. 2017b. Disponível em <<https://www.ibb.unesp.br/Home/ensino/departamentos/quimicaebioquimica/metodo-da-atividade-da-superoxido-dismutase-sod.pdf>>. Acesso em: 10 de nov. de 2020.

MONTEIRO, G.C.; LIMA, G.P.P. **Catalase (CAT)**. Laboratório de Química e Bioquímica Vegetal – LQBV. Universidade Estadual Paulista – Instituto de Biociências. 2017a. Disponível em <<https://www.ibb.unesp.br/Home/ensino/departamentos/quimicaebioquimica/metodo-da-atividade-da-catalase-cat.pdf>>. Acesso em: 10 de nov. de 2020.

MORENO-PÉREZ, A.; MARTÍNEZ-FERRI, E.; PLIEGO-ALFARO, F.; PLIEGO, C. Elicitors and Plant defence. **JOJ Horticulture and Arboriculture**, v. 2, p. 95-99, 2020.

OLMIX GROUP. **Guide to Mycotoxins: The Essentials**. France: L'Imprimerie de Bretagne, 2021.

PITON, P.; OSWALD, I.P. Effect of deoxynivalenol and other Type B trichothecenes on the intestine: a review. **Toxins**, v. 6, p. 1615-1643, 2014.

PONTE, E.M.D., GARDA-BUFFON, J.; BADIÁLE-FURLONG, E. Deoxynivalenol and nivalenol in commercial wheat grain related to *Fusarium* Head Blight epidemics in southern Brazil. **Food Chemistry**, v. 132, p. 1087-1091, 2012.

PONTS, N. Mycotoxins are a component of *Fusarium graminearum* stress-response system. *Frontiers in Microbiology*, v. 6, Article 1234, 2015.

RANDHAWA, M. S.; BHAVANI, S.; SINGH, P. K.; HUERTA-ESPINO, J.; SINGH, R. P. **Disease Resistance in Wheat: Present Status and Future Prospects**. In: WANI, S. H. (Ed.). *Disease Resistance in Crop Plants, Volume 1*. Suíça: Springer, 2019.

REIS, E. M.; BOARETO, C.; DANELLI, A. L. D.; ZOLDAN, S. M. Anthesis, the infectious process and disease progress curves for fusarium head blight in wheat. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 2, p. 134-139, 2016.

SANGHA, J. S.; KHAN, W.; JI, X.; ZHANG, J.; MILLS, A. A. S.; CRITCHLEY, A. T.; PRITHIVIRAJ, B. Carrageenans, sulphated polysaccharides of red seaweeds, differentially affect *Arabidopsis thaliana* resistance to *Trichoplusia ni* (Cabbage Looper). **PlosOne**, v. 6, n. 10, e26834, 2011.

SAUCEDO, S.; CONTRERAS, R. A.; MOENNE, A. Oligo-carrageenan kappa increases C, N and S assimilation, auxin and gibberellin contents, and growth in *Pinus radiata* trees. **Journal of Forest Research**, v. 26, n. 3, p. 635-640, 2015.

SHUKLA, P.S.; BORZA, T.; CRITCHLEY A.T.; PRITHIVIRAJ, B. Seaweed-based compounds and products for sustainable protection against plant pathogens. **Marine drugs**, v. 19, Article 59, 2021.

SHUKLA, P.S.; BORZA, T.; CRITCHLEY, A.T.; PRITHIVIRAJ, B. Carrageenans from red seaweeds as promoters of growth and elicitors of defense responses in plants. **Frontiers in Marine Science**, v. 3, artigo 81, 2016.

STACK, R.W.; MCMULLEN, M.P. **A visual scale to estimate severity of Fusarium head blight in wheat**. NDSU Extension Service, North Dakota State University, 2011.

STADNIK, M.J.; FREITAS, M.B. Algal polysaccharides as source of plant resistance inducers. **Tropical Plant Pathology**, v. 39, p. 111-118, 2014.

SRIRAM, S.; MISKA, R.S.; SAHU, A.K.; MAHESHWARI, S.K. A cell wall glucan elicitor induces resistance in taro against *Phytophthora* leaf blight. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 110, p. 17-26, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TRAIL, F. For Blighted Waves of Grain: *Fusarium graminearum* in the Postgenomics Era. **Plant Physiology**, v. 149, p. 103-110, 2009.

USDA:FAS, UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE: FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **World Agricultural Production. 2021a**. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 31 de mai. de 2021.

USDA:FAS, UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE: FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **Grain: World Markets and Trade. 2021b**. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>>. Acesso em: 01 de mar. de 2021.

USDA:NRCS, UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE: NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. **Plants Database**. 2021. Disponível em: <<https://plants.usda.gov/java/nameSearch>>. Acesso em: 31 de mar. de 2021.

WEGULO, S.N. Factors Influencing Deoxynivalenol Accumulation in Small Grain Cereals. **Toxins**, v. 4, p. 1157-1180, 2012.

WIESEL, L.; NEWTON, A.C.; ELLIOTT, I.; BOOTY, D.; GILROY, E.M.; BIRCH, P.R.J.; HEIN, I. Molecular effects of resistance elicitors from biological origin and their potential for crop protection. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, article 655, 2014.

WU, L.; QIU, L.; ZHANG, H.; SUN, J.; HU, X.; WANG, B. Optimization for the production of Deoxynivalenol and Zearalenone by *Fusarium graminearum* using response surface methodology. **Toxins**, v. 9, article 57, 2017.

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.

ZOLDAN, S.M. **Regiões de risco, caracterização da antese em cereais de inverno e sistema de alerta para a giberela, em trigo**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo.

ÍNDICE DE APÊNDICES E ANEXOS

APÊNDICE A – Condutância estomática ($G_s - \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 ($C_i - \mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiração ($E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa fotossintética líquida ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência instantânea da carboxilação ($E_iC - A C_i^{-1}$) e eficiência do uso da água ($WUE - A E^{-1}$) para a cultivar TBIO Audaz aos 1, 8, 15 e 22 DAA. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.	64
APÊNDICE B – Condutância estomática ($G_s - \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 ($C_i - \mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiração ($E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa fotossintética líquida ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência instantânea da carboxilação ($E_iC - A C_i^{-1}$) e eficiência do uso da água ($WUE - A E^{-1}$) para a cultivar TBIO Noble aos 1, 8, 15 e 22 DAA. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.	65
APÊNDICE C – Médias gerais das variáveis analisadas para as cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble. EPAGRI, SC, 2020	66
APÊNDICE D – Incidência de desoxinivalenol (DON – ppb) em grãos de trigo das cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.	67
APÊNDICE E – Valores de p para todas as correlações lineares de Pearson referentes as variáveis analisadas para a cultivar TBIO Audaz. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.	68
APÊNDICE F – Valores de p para todas as correlações lineares de Pearson referentes as variáveis analisadas para a cultivar TBIO Noble. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.	69

APÊNDICES

APÊNDICE A – Condutância estomática (G_s – $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (C_i – $\mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiração (E – $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa fotossintética líquida (A – $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência instantânea da carboxilação (E_iC – $A C_i^{-1}$) e eficiência do uso da água (WUE – $A E^{-1}$) para a cultivar TBIO Audaz aos 1, 8, 15 e 22 DAA. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.

PA ¹	Tratamento	1 DAA ± EP (22/08/2020)	8 DAA ± EP (29/08/2020)	15 DAA ± EP (05/09/2020)	22 DAA ± EP (12/09/2020)
Ci	Testemunha Positiva	142,01 ± 21,72	190,25 ± 5,86	206,87 ± 3,95	227,75 ± 4,62
	Testemunha Negativa	145,94 ± 10,11	201,00 ± 3,76	215,50 ± 4,84	243,75 ± 1,29
	ASM	132,00 ± 13,85	202,20 ± 2,90	216,37 ± 2,13	231,75 ± 10,52
	Carragena 0,5	136,16 ± 19,26	197,62 ± 3,70	207,50 ± 3,74	237,87 ± 1,51
	Carragena 1,0	149,17 ± 6,83	196,25 ± 5,12	205,00 ± 4,54	240,12 ± 4,67
	Carragena 1,5	141,79 ± 20,77	185,04 ± 8,50	213,87 ± 3,56	232,25 ± 4,82
	Valor de <i>P</i>	0,979	0,227	0,207	0,353
E	Testemunha Positiva	4,484 ± 0,690	9,425 ± 0,096	8,235 ± 0,593	7,809 ± 0,973
	Testemunha Negativa	3,898 ± 0,120	9,155 ± 0,636	7,639 ± 1,351	7,593 ± 1,661
	ASM	5,377 ± 0,682	10,50 ± 0,878	7,936 ± 0,780	7,526 ± 0,804
	Carragena 0,5	3,964 ± 0,799	10,26 ± 0,652	7,433 ± 0,724	7,287 ± 0,502
	Carragena 1,0	5,221 ± 0,983	9,724 ± 0,952	8,959 ± 0,385	7,499 ± 0,576
	Carragena 1,5	4,710 ± 0,629	10,82 ± 0,873	8,284 ± 0,830	7,685 ± 0,648
	Valor de <i>P</i>	0,642	0,625	0,824	0,999
Gs	Testemunha Positiva	0,478 ± 0,004	0,940 ± 0,094	0,605 ± 0,046	0,509 ± 0,088
	Testemunha Negativa	0,495 ± 0,011	0,809 ± 0,018	0,672 ± 0,055	0,580 ± 0,146
	ASM	0,494 ± 0,073	0,893 ± 0,079	0,640 ± 0,071	0,514 ± 0,075
	Carragena 0,5	0,522 ± 0,085	1,034 ± 0,128	0,691 ± 0,053	0,445 ± 0,003
	Carragena 1,0	0,548 ± 0,073	0,826 ± 0,116	0,782 ± 0,081	0,517 ± 0,066
	Carragena 1,5	0,519 ± 0,086	1,012 ± 0,093	0,655 ± 0,031	0,481 ± 0,084
	Valor de <i>P</i>	0,986	0,460	0,411	0,949
A	Testemunha Positiva	41,425 ± 1,656	41,63 ± 1,291	33,560 ± 1,145	28,962 ± 2,872
	Testemunha Negativa	41,765 ± 2,282	37,39 ± 0,612	34,075 ± 1,297	27,098 ± 3,848
	ASM	40,797 ± 1,202	38,61 ± 1,607	32,586 ± 1,459	28,102 ± 2,278
	Carragena 0,5	41,231 ± 2,369	41,49 ± 1,806	35,494 ± 1,378	26,201 ± 0,702
	Carragena 1,0	40,614 ± 2,935	38,33 ± 2,204	37,708 ± 2,328	27,157 ± 2,060
	Carragena 1,5	40,325 ± 2,932	43,92 ± 2,770	33,905 ± 0,369	25,142 ± 0,383
	Valor de <i>P</i>	0,998	0,153	0,223	0,919
EiC	Testemunha Positiva	0,265 ± 0,033	0,221 ± 0,011	0,163 ± 0,007	0,128 ± 0,014
	Testemunha Negativa	0,302 ± 0,037	0,187 ± 0,005	0,161 ± 0,008	0,133 ± 0,014
	ASM	0,322 ± 0,034	0,192 ± 0,010	0,152 ± 0,006	0,123 ± 0,013
	Carragena 0,5	0,343 ± 0,072	0,213 ± 0,010	0,173 ± 0,006	0,110 ± 0,003
	Carragena 1,0	0,282 ± 0,027	0,197 ± 0,014	0,185 ± 0,015	0,117 ± 0,012
	Carragena 1,5	0,328 ± 0,027	0,241 ± 0,026	0,161 ± 0,004	0,188 ± 0,008
	Valor de <i>P</i>	0,905	0,120	0,153	0,877
WUE	Testemunha Positiva	9,987 ± 1,730	4,127 ± 0,237	4,116 ± 0,180	3,748 ± 0,190
	Testemunha Negativa	9,631 ± 0,897	4,132 ± 0,231	4,923 ± 0,886	3,891 ± 0,517
	ASM	7,985 ± 1,091	3,733 ± 0,272	4,269 ± 0,573	3,788 ± 0,251
	Carragena 0,5	11,726 ± 2,247	4,087 ± 0,297	4,962 ± 0,647	3,649 ± 0,286
	Carragena 1,0	8,522 ± 1,394	3,999 ± 0,235	4,259 ± 0,428	3,625 ± 0,076
	Carragena 1,5	8,972 ± 1,180	4,076 ± 0,101	4,225 ± 0,443	3,757 ± 0,032
	Valor de <i>P</i>	0,574	0,838	0,813	0,987

¹parâmetro analisado

APÊNDICE B – Condutância estomática (G_s – $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (C_i – $\mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiração (E – $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa fotossintética líquida (A – $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência instantânea da carboxilação (E_iC – $A C_i^{-1}$) e eficiência do uso da água (WUE – $A E^{-1}$) para a cultivar TBIO Noble aos 1, 8, 15 e 22 DAA. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.

PA ¹	Tratamento	1 DAA ± EP (22/08/2020)	8 DAA ± EP (29/08/2020)	15 DAA ± EP (05/09/2020)	22 DAA ± EP (12/09/2020)
Ci	Testemunha Positiva	144,01 ± 17,23	200,44 ± 10,04	216,62 ± 8,49	236,12 ± 1,71
	Testemunha Negativa	152,42 ± 10,13	208,08 ± 12,18	212,87 ± 4,14	235,87 ± 4,87
	ASM	154,65 ± 2,65	186,00 ± 3,36	201,50 ± 6,34	227,62 ± 6,36
	Carragena 0,5	155,20 ± 16,95	200,12 ± 6,69	208,37 ± 4,45	323,37 ± 7,00
	Carragena 1,0	167,08 ± 9,48	194,29 ± 6,08	204,50 ± 5,67	230,62 ± 3,71
	Carragena 1,5	150,65 ± 6,85	200,08 ± 3,92	216,00 ± 4,38	237,62 ± 4,32
	Valor de <i>P</i>	0,833	0,444	0,369	0,822
E	Testemunha Positiva	4,971 ± 0,783	10,038 ± 0,408	7,590 ± 1,133	7,822 ± 0,830
	Testemunha Negativa	4,648 ± 0,669	9,818 ± 0,315	8,656 ± 0,929	8,960 ± 0,641
	ASM	4,964 ± 0,900	10,275 ± 0,782	7,804 ± 0,730	7,946 ± 0,328
	Carragena 0,5	4,914 ± 1,036	10,456 ± 0,771	8,174 ± 0,708	8,607 ± 0,621
	Carragena 1,0	4,839 ± 0,605	10,574 ± 0,477	8,071 ± 1,141	7,787 ± 0,676
	Carragena 1,5	5,371 ± 0,916	9,789 ± 0,516	8,363 ± 0,573	8,371 ± 0,610
	Valor de <i>P</i>	0,994	0,888	0,966	0,727
G _s	Testemunha Positiva	0,581 ± 0,080	1,048 ± 0,077	0,649 ± 0,054	0,650 ± 0,050
	Testemunha Negativa	0,499 ± 0,023	0,946 ± 0,133	0,792 ± 0,037	0,804 ± 0,081
	ASM	0,542 ± 0,071	0,864 ± 0,126	0,709 ± 0,064	0,652 ± 0,078
	Carragena 0,5	0,523 ± 0,079	1,060 ± 0,107	0,670 ± 0,072	0,660 ± 0,017
	Carragena 1,0	0,429 ± 0,017	1,039 ± 0,018	0,764 ± 0,021	0,605 ± 0,053
	Carragena 1,5	0,567 ± 0,036	0,840 ± 0,064	0,643 ± 0,076	0,672 ± 0,092
	Valor de <i>P</i>	0,640	0,433	0,362	0,433
A	Testemunha Positiva	42,630 ± 3,903	41,874 ± 1,602	33,121 ± 2,315	30,974 ± 1,041
	Testemunha Negativa	41,882 ± 2,996	37,915 ± 3,282	37,652 ± 0,133	34,557 ± 0,872
	ASM	39,721 ± 2,875	40,928 ± 2,804	37,104 ± 1,301	32,727 ± 1,813
	Carragena 0,5	38,266 ± 2,268	41,861 ± 2,636	34,830 ± 2,581	31,860 ± 1,076
	Carragena 1,0	36,700 ± 2,977	42,645 ± 1,273	37,877 ± 0,864	31,031 ± 1,874
	Carragena 1,5	41,748 ± 1,712	38,452 ± 1,224	32,441 ± 1,979	31,142 ± 2,152
	Valor de <i>P</i>	0,655	0,602	0,195	0,555
E _i C	Testemunha Positiva	0,322 ± 0,063	0,215 ± 0,014	0,156 ± 0,015	0,132 ± 0,007
	Testemunha Negativa	0,290 ± 0,031	0,186 ± 0,024	0,174 ± 0,002	0,147 ± 0,005
	ASM	0,273 ± 0,027	0,222 ± 0,020	0,176 ± 0,002	0,145 ± 0,010
	Carragena 0,5	0,262 ± 0,038	0,212 ± 0,020	0,169 ± 0,015	0,138 ± 0,009
	Carragena 1,0	0,233 ± 0,028	0,222 ± 0,013	0,186 ± 0,009	0,135 ± 0,009
	Carragena 1,5	0,286 ± 0,026	0,194 ± 0,008	0,151 ± 0,010	0,131 ± 0,010
	Valor de <i>P</i>	0,685	0,585	0,311	0,706
WUE	Testemunha Positiva	9,271 ± 1,766	4,201 ± 0,275	4,638 ± 0,743	4,116 ± 0,508
	Testemunha Negativa	9,624 ± 1,741	3,858 ± 0,300	4,413 ± 0,609	3,928 ± 0,336
	ASM	8,700 ± 1,470	4,172 ± 0,035	4,924 ± 0,611	4,121 ± 0,184
	Carragena 0,5	8,824 ± 1,783	4,018 ± 0,152	4,353 ± 0,491	3,671 ± 0,298
	Carragena 1,0	7,819 ± 0,758	4,055 ± 0,202	5,022 ± 0,778	3,630 ± 0,075
	Carragena 1,5	8,568 ± 1,626	3,961 ± 0,245	3,946 ± 0,395	3,730 ± 0,131
	Valor de <i>P</i>	0,971	0,901	0,829	0,814

¹parâmetro analisado

APÊNDICE C – Médias gerais das variáveis analisadas para as cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble. EPAGRI, SC, 2020

Cultivar	Parâmetro	Variável	Tratamentos					
			Test. Positiva	Test. Negativa	ASM	Carragena 0,5	Carragena 1,0	Carragena 1,5
TBIO Audaz	Fisiológicos	SPAD	41,03	39,33	41,45	40,60	41,16	41,28
		Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	191,72	201,54	195,58	194,79	197,63	193,23
		E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	7,48	7,07	7,87	7,23	7,85	7,87
		Gs ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	0,633	0,639	0,635	0,673	0,668	0,666
		A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	36,39	35,08	35,02	36,10	35,95	35,82
		EiC (A Ci^{-1})	0,194	0,195	0,197	0,209	0,195	0,229
		WUE (A E^{-1})	5,49	5,64	4,94	6,10	5,10	5,25
	Morfológicos	Altura (cm)	59,18	56,19	59,77	58,09	58,73	60,68
	Sanitários	Oídio (%)	27,08	45,43	21,80	27,40	25,62	28,26
		Mancha-amarela (%)	0,06	0,12	0,09	0,11	0,12	0,08
		Mancha-marrom (%)	3,31	1,81	2,90	2,75	2,69	3,09
		Ferrugem (%)	0,27	1,65	0,39	0,43	0,32	0,44
		Giberela (%)	0,833	0	1,665	0	0,207	0
	Bioquímicos	SOD (U SOD mg MF^{-1})	23,30	23,50	23,59	23,49	23,47	23,47
		CAT ($\text{mmol H}_2\text{O}_2 \text{min}^{-1} \text{mg MF}^{-1}$)	1,634	1,537	1,961	1,923	1,710	2,086
		FAL ($\text{mmoles min}^{-1} \text{mg MF}^{-1}$)	0,125	0,122	0,183	0,131	0,148	0,163
	Agronômicos de produtividade	Produtividade (kg ha^{-1})	3704,10	2661,42	4020,12	3565,38	3628,68	3775,50
		PH	85,07	85,03	85,42	85,43	84,73	85,51
		PMS (g)	27,10	27,16	28,09	28,08	27,53	27,96
	TBIO Noble	Fisiológicos	SPAD	42,35	39,32	43,11	42,62	42,14
Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)			199,30	202,31	192,44	221,77	199,12	201,08
E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			7,60	8,02	7,74	8,03	7,81	7,97
Gs ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			0,732	0,760	0,691	0,728	0,709	0,680
A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			37,14	38,00	37,62	36,70	37,06	35,94
EiC (A Ci^{-1})			0,206	0,199	0,204	0,195	0,194	0,190
WUE (A E^{-1})			5,55	5,45	5,47	5,21	5,13	5,05
Morfológicos		Altura (cm)	57,10	53,48	57,08	56,20	58,12	56,63
Sanitários		Oídio (%)	32,51	47,19	29,60	29,71	29,43	29,67
		Mancha-amarela (%)	0,03	0,09	0,09	0,04	0,05	0,07
		Mancha-marrom (%)	2,68	1,28	1,60	2,26	2,00	1,70
		Ferrugem (%)	0,04	0,25	0,03	0,04	0,03	0,07
		Giberela (%)	0,415	1,665	0	0	0	0
Bioquímicos		SOD (U SOD mg MF^{-1})	23,73	23,54	23,38	22,97	22,85	23,63
		CAT ($\text{mmol H}_2\text{O}_2 \text{min}^{-1} \text{mg MF}^{-1}$)	1,82	1,41	1,64	1,70	1,59	1,81
		FAL ($\text{mmoles min}^{-1} \text{mg MF}^{-1}$)	0,120	0,134	0,146	0,175	0,166	0,158
Agronômicos de produtividade		Produtividade (kg ha^{-1})	3554,58	2666,94	3786,54	3583,26	3774,48	3549,96
		PH	85,07	84,41	85,58	85,33	84,89	84,92
		PMS (g)	29,10	28,70	28,86	28,99	29,00	28,32

APÊNDICE D – Incidência de desoxinivalenol (DON – ppb) em grãos de trigo das cultivares TBIO Audaz e TBIO Noble. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.

Cultivar	Tratamento	Repetição I*		Repetição II		Repetição III		Repetição IV	
		DON 1**	DON 2	DON 1	DON 2	DON 1	DON 2	DON 1	DON 2
TBIO Audaz	Testemunha Positiva	<50***	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
	Testemunha Negativa	<50	<50	132	116	<50	<50	155	159
	ASM	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
	Carragena 0,5	<50	<50	<50	<50	124	98	<50	<50
	Carragena 1,0	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
	Carragena 1,5	98	140	<50	<50	<50	<50	<50	<50
TBIO Noble	Testemunha Positiva	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
	Testemunha Negativa	<50	<50	<50	<50	<50	55	<50	<50
	ASM	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
	Carragena 0,5	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
	Carragena 1,0	<50	<50	<50	<50	110	146	<50	<50
	Carragena 1,5	<50	57	<50	<50	<50	<50	<50	<50

*todas as análises de DON foram realizadas em duplicata.

**valores de DON expressos em ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

***<50 identifica que a mostra possui menos de 50 ppb de DON

APÊNDICE F – Valores de p para todas as correlações lineares de Pearson referentes as variáveis analisadas para a cultivar TBIO Noble. EPAGRI, Chapecó, SC, 2020.

Variable	SPAD	OIDIO	ALTURA	AREA-FOLIAR	PRODUCAO	PH	PMS	CI	E	GS	A	EIC	WUE	Giberela	SOD	CAT	FAL	DON	PB	EE	PB	EE	FB	MM
1. SPAD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. OIDIO	Pearson's r p-value	-0.969 0.001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3. ALTURA	Pearson's r p-value	0.828 0.042	-0.903 0.014	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4. AREA-FOLIAR	Pearson's r p-value	0.441 0.381	-0.454 0.365	0.566 0.242	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5. PRODUCAO	Pearson's r p-value	0.937 0.006	-0.974 0.001	0.954 0.003	0.515 0.296	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. PH	Pearson's r p-value	0.840 0.036	-0.762 0.078	0.592 0.216	0.787 0.225	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7. PMS	Pearson's r p-value	0.072 0.892	-0.147 0.781	0.231 0.555	0.276 0.597	0.328 0.925	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8. CI	Pearson's r p-value	-0.022 0.967	-0.039 0.942	-0.236 0.653	0.102 0.835	0.044 0.933	0.151 0.775	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9. E	Pearson's r p-value	-0.368 0.473	0.324 0.531	-0.591 0.217	-0.286 0.583	-0.475 0.341	-0.360 0.483	0.618 0.191	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10. GS	Pearson's r p-value	-0.812 0.050	0.784 0.065	-0.600 0.138	-0.826 0.043	-0.526 0.273	0.409 0.421	0.339 0.511	0.165 0.755	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11. A	Pearson's r p-value	-0.617 0.192	0.645 0.167	-0.438 0.385	-0.231 0.660	-0.471 0.346	0.422 0.739	-0.319 0.405	0.817 0.700	0.617 0.192	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12. EIC	Pearson's r p-value	-0.085 0.902	0.194 0.712	-0.030 0.942	-0.225 0.689	0.280 0.934	0.571 0.592	-0.383 0.454	-0.715 0.147	0.338 0.669	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13. WUE	Pearson's r p-value	-0.295 0.570	0.432 0.392	-0.294 0.571	-0.351 0.495	-0.297 0.588	0.091 0.864	-0.323 0.533	-0.538 0.270	0.509 0.302	0.767 0.705	0.966 0.002	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14. Giberela	Pearson's r p-value	-0.962 0.002	0.996 < 0.001	-0.880 0.021	-0.472 0.345	-0.964 0.002	-0.762 0.079	-0.102 0.847	-0.060 0.626	0.805 0.054	0.653 0.160	0.250 0.633	0.480 0.335	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15. SOD	Pearson's r p-value	-0.164 0.756	0.357 0.488	-0.346 0.502	-0.016 0.976	-0.381 0.456	-0.232 0.658	-0.409 0.421	-0.267 0.609	0.050 0.925	0.037 0.945	0.403 0.428	0.395 0.438	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16. CAT	Pearson's r p-value	0.794 0.059	-0.728 0.101	0.606 0.203	0.156 0.768	0.635 0.175	0.492 0.321	-0.042 0.937	-0.388 0.447	-0.559 0.349	-0.758 0.081	0.272 0.966	-0.198 0.707	0.272 0.130	0.602 0.602	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17. FAL	Pearson's r p-value	0.364 0.478	-0.406 0.317	0.278 0.593	0.143 0.788	0.397 0.435	0.250 0.620	-0.132 0.802	0.547 0.261	-0.300 0.445	-0.513 0.298	-0.776 0.689	-0.823 0.044	-0.784 0.250	0.602 0.859	0.020 0.971	—	—	—	—	—	—	—	—
18. DON	Pearson's r p-value	0.214 0.684	-0.245 0.639	-0.065 0.903	-0.628 0.182	0.122 0.817	0.363 0.479	0.260 0.619	0.481 0.335	0.172 0.745	-0.295 0.571	-0.249 0.635	-0.244 0.641	-0.268 0.607	-0.490 0.324	0.152 0.774	0.597 0.211	—	—	—	—	—	—	—
19. PB	Pearson's r p-value	-0.502 0.216	0.619 0.044	-0.823 0.024	-0.672 0.144	-0.775 0.233	-0.397 0.436	0.614 0.195	0.759 0.030	0.550 0.259	-0.088 0.668	-0.331 0.521	-0.113 0.831	0.597 0.211	0.233 0.657	0.227 0.665	0.026 0.960	0.300 0.445	—	—	—	—	—	—
20. EE	Pearson's r p-value	0.220 0.675	-0.306 0.555	0.483 0.331	-0.299 0.565	0.419 0.408	0.373 0.467	0.977 < 0.001	0.140 0.791	-0.593 0.214	0.274 0.600	0.442 0.644	0.496 0.317	-0.255 0.490	-0.404 0.625	0.139 0.793	-0.088 0.869	0.249 0.635	-0.468 0.349	—	—	—	—	—
21. FB	Pearson's r p-value	-0.284 0.586	0.480 0.335	-0.699 0.122	-0.614 0.195	-0.527 0.283	0.070 0.881	-0.080 0.639	0.246 0.715	0.336 0.888	0.300 0.523	0.464 0.354	0.602 0.284	0.482 0.333	0.526 0.206	-0.084 0.859	-0.414 0.414	0.274 0.599	0.541 0.267	-0.206 0.696	—	—	—	—
22. MM	Pearson's r p-value	-0.031 0.954	0.146 0.782	-0.473 0.344	-0.043 0.936	-0.334 0.517	-0.171 0.745	-0.854 0.027	0.254 0.614	-0.213 0.156	-0.468 0.685	-0.488 0.236	-0.366 0.476	0.106 0.841	0.430 0.407	0.177 0.737	0.174 0.741	0.176 0.738	0.666 0.149	-0.858 0.029	0.433 0.391	—	—	—