

1 Universidade Federal de Pelotas, Laboratório de Interação Planta-Patógeno, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.
2 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Trigo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil.
3 Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Santa Helena, Santa Helena, Paraná, Brasil.
4 Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y Ambiente, Laboratorio de Fitopatología, Guaranda, Bolívar, Ecuador.
5 Grow Green Tecnologías Agrícolas, Riobamba, Chimborazo, Ecuador.
aroman@ueb.edu.ec

Introdução

No Brasil, a região Sul é a principal produtora de trigo e o estado do Rio Grande do Sul representa 36% da produção nacional (Conab, 2021). No entanto, as condições climáticas no sul do Brasil são favoráveis a diversas doenças afetando a produção e a qualidade do trigo. Doenças causadas fúngicas podem afetar o trigo durante todas as fases de desenvolvimento. Desta forma, qualquer dano causado por doenças nas folhas, especialmente a bandeira, pode afetar o rendimento, bem como a qualidade do grão e da farinha. Neste contexto, técnicas relacionadas com a fluorescência da clorofila *a* (CF) permitem o reconhecimento de mudanças na fase fotoquímica associadas ao estresse biótico (Rolfe & Scholes, 2010) indicar o dano potencial que a planta está exposta.

O manejo de doenças do trigo envolve a utilização de cultivares resistentes, sementes saudáveis, rotação de culturas, aplicação de fungicidas e práticas de fertilização. Além disso, nos últimos anos, o manejo da fertilização para o controle da mancha amarela vem sendo estudado; como por exemplo, pelo incremento do nitrogênio o que induziria a uma redução do dano na produtividade da planta e na qualidade do grão e da farinha (Fleitas *et al.*, 2018; Schierenbeck *et al.*, 2019). Apesar do uso da fertilização nitrogenada no aumento na produtividade de grãos, e sua influência na intensidade de doenças, são escassos os estudos investigando o seu impacto dentro de um programa de manejo integrado de doenças em trigo.

Portanto, neste trabalho foi avaliado o efeito da dose de fertilizante nitrogenado, em relação ao recomendado, em duas cultivares de trigo precoces, com contrastante resistência à doenças, que receberam duas aplicações de fungicida, na produtividade de grãos e na qualidade tecnológica.

Metodologia

O experimento foi realizado no Centro Agropecuário da Palma, Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil, nas safras 2019 e 2020. O delineamento experimental usado foi parcelas subdivididas com quatro repetições, sendo a parcela principal o tratamento sem ou com a aplicação de fungicida [bixafem (carboxamida) + protriocanazol (triazol) + trifloxistrobina (estrobilurina)]. As subparcelas foram as cultivares de trigo TBIOAudaz (moderada resistência a doenças e trigo melhorador) e TBIOTibagi (suscetível a doenças e trigo pão). Na sub-subparcelas foram avaliadas três doses de nitrogênio: 70 kg ha⁻¹ (N baixo), 130 kg ha⁻¹ (N recomendado) e 200 kg ha⁻¹ (N alto). A severidade de doenças, as quais ocorreram devido ao inóculo natural, foi quantificada semanalmente desde a emergência das plântulas até a maturação fisiológica. Os dados de severidade foram usados para calcular a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para a mancha amarela, oídio, ferrugem da folha e giberela. Durante a fase de desenvolvimento do grão (ZGS80), a eficiência do fotossistema II (*Fv/Fm*) associada aos processos fotossintéticos foi determinada, utilizando-se um fluorômetro (FluorPen FP110, Photon Systems Instruments, Drásov, República Tcheca) em folhas bandeiras adaptadas ao escuro por 30 minutos, com o auxílio de "leaf clips", seguindo a metodologia descrita previamente (Ajigboye *et al.*, 2014). A produtividade foi estimada após a colheita dos grãos da área útil de cada parcela e ajustada para 13% de umidade. A qualidade tecnológica de trigo foi avaliada conforme AAC (2010): peso hectolítico-PH (Método 55-10.01), número de queda do grão-NQG (Método 56-81.03); glúten seco-GS (Método 38-12.02) e proteína em base seca-PS (Método 39-10.01), sendo as três últimas análises realizadas na farinha integral (grãos de trigo moídos inteiros). A PS foi determinada por espectroscopia NIR (Método 46-13.01).

Para a análise estatística, foi utilizado o modelo linear de efeitos mistos, em que as doses de nitrogênio, cultivar e fungicida foram considerados efeitos fixos e, o bloco, efeito aleatório. Foram usadas as funções lmer dos pacotes (lme4) (Bates *et al.*, 2014) e lmerTest (Kuznetsova *et al.*, 2017) no R, versão 4.0.4. (RStudio, 2021).

Tabela 1. Efeito do fungicida (F), cultivar (C) e três níveis de nitrogênio (N) e suas interações na curva de progresso da doença (AACPD) para manchas amarela, oídio, ferrugem da folha e giberela e eficiência do fotossistema II (*Fv/Fm*).

Tratamentos	df	Mancha amarela		Oídio		Ferrugem da folha		Giberela		<i>Fv/Fm</i>	
		F value	P value	F value	P value	F value	P value	F value	P value	F value	P value
Cultivar (C)	1	1368048**	0,0013	10,1174ns	0,0501	757,814***	<0,0001	38,3799**	0,0085	277227*	0,0134
Fungicida (F)	1	346512**	0,0098	0,7608ns	0,4473	548,3166***	<0,0001	14,8917*	0,0308	35853ns	0,1546
Níveis de nitrogênio (N)	2	250939***	<0,0001	5,106**	0,0082	1,8517ns	0,1634	0,3482ns	0,7070	0,6230ns	0,5389
C × F	1	81265ns	0,0651	0,0052ns	0,9472	428,0478***	<0,0001	4,1381ns	0,1348	0,0087ns	0,9314
C × N	2	72764**	0,0012	1,2322ns	0,2971	2,1589ns	0,1219	1,5568ns	0,2171	0,4007ns	0,6712
F × N	2	0,0750ns	0,9278	0,1383ns	0,8711	2,1566ns	0,1222	2,2291ns	0,1143	34773*	0,0356
C × F × N	2	0,1509ns	0,8601	0,5717ns	0,5669	3,2854*	0,0424	0,6558ns	0,5218	12582ns	0,2897

Valores significativos de F a ***p = 0.001; **p = 0.01; * p < 0.05; ns = não significativo

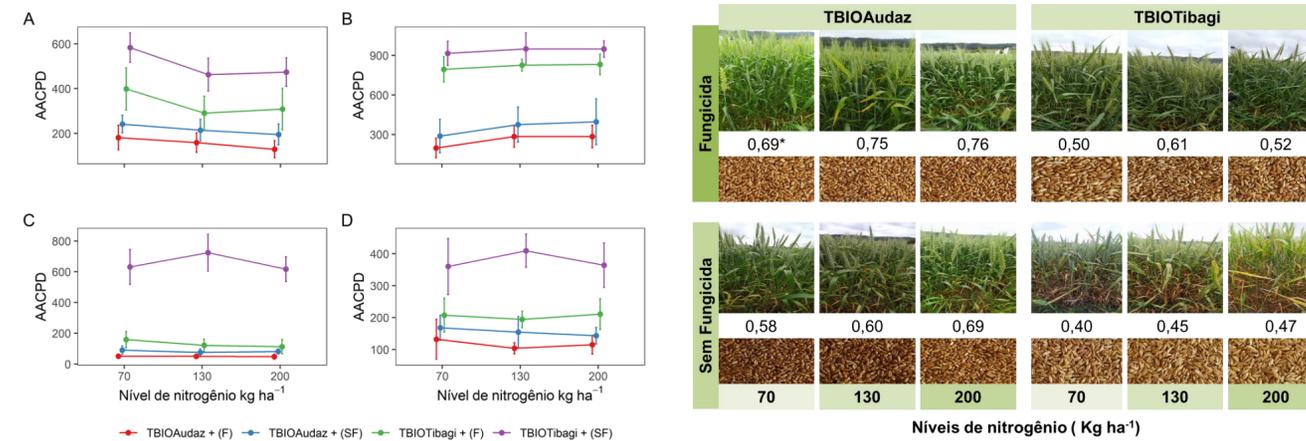


Figura 1. AACPD da mancha amarela (A), oídio (B), ferrugem da folha (C) e Giberela (D) de TBIOAudaz e TBIOTibagi (fungicida (F) e sem fungicida (SF)) em três doses de nitrogênio durante duas safras. Os pontos correspondem às médias e as barras de erro representam o desvio padrão das médias.

Figura 2. Dano ocasionado pelas doenças na etapa de desenvolvimento de grão (GS80), na eficiência do fotossistema II (*Fv/Fm*), e na qualidade do grão do cultivar TBIOAudaz e TBIOTibagi com e sem fungicida em três níveis de nitrogênio.

Tabela 2. Efeito do fungicida (F), cultivar (C) e três níveis de nitrogênio (N) e suas interações na produtividade, peso hectolítico (PH), proteína em base seca (PS), número de queda do grão (NQG) e glúten seco (GS).

Tratamentos	df	PH (kg hL ⁻¹)		Produtividade (kg ha ⁻¹)		PS (%)		NQG (s)		GS (%)	
		F value	P value	F value	P value	F value	P value	F value	P value	F value	P value
Cultivar (C)	1	21,3487*	0,0191	29,5302*	0,0122	9,0538*	0,0396	153,907***	0,0002	7,9993*	0,0474
Fungicida (F)	1	70,108**	0,0036	14,743*	0,0312	2,9484ns	0,1611	0,1599ns	0,7097	0,4748ns	0,5287
Níveis de nitrogênio (N)	2	2,4813ns	0,0901	18,6708***	<0,0001	106,679***	<0,0001	0,0984ns	0,9064	25,6708***	<0,0001
C × F	1	17,1684*	0,0255	2,3141ns	0,2256	0,0294ns	0,8721	0,0001ns	0,9935	0,3194ns	0,6022
C × N	2	1,7316ns	0,1836	4,3986*	0,0154	10,6747***	0,0778	6,1873**	0,0032	3,9473*	0,0232
F × N	2	1,026ns	0,3631	0,9188ns	0,4032	2,0495ns	0,1355	1,54ns	0,2207	0,5116ns	0,6015
C × F × N	2	0,3529ns	0,7038	1,0244ns	0,3637	2,1484ns	0,1234	0,76ns	0,4710	0,7814ns	0,4612

Valores significativos de F a ***p = 0.001; **p = 0.01; * p < 0.05; ns = não significativo

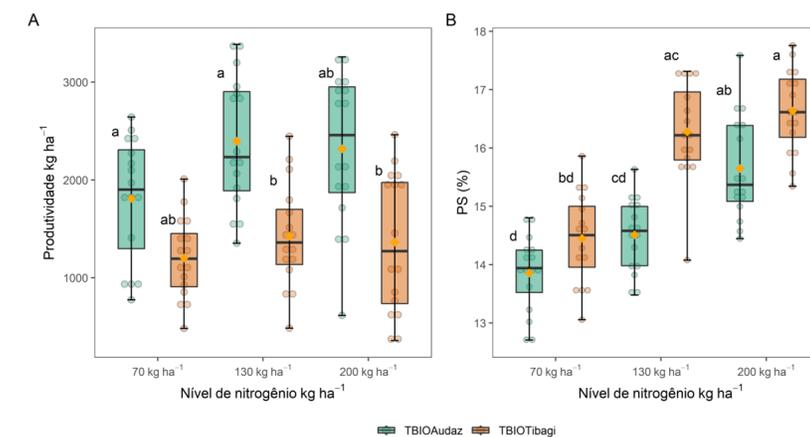


Figura 3. Efeito da interação cultivar × nitrogênio na produtividade (A) e proteína em base seca (B) duração da área saudável HAD (F). A linha horizontal dentro da caixa representa a mediana, os limites da caixa representam os quartis inferior e superior e os círculos representam as observações de cada tratamento. Os pontos (+) são as médias das observações e as barras de erro representam o desvio padrão das médias. O ponto (-) corresponde a "outliers". Letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas de acordo com o teste de Tukey $P \leq 0,05$.

Resultados

Durante o ciclo de desenvolvimento das plantas de trigo foram observadas quatro doenças: mancha amarela, ferrugem da folha, oídio e giberela. A AACPD da mancha amarela foi significativamente influenciada ($p < 0.05$) pelos fatores cultivar, fungicida e nitrogênio, enquanto somente o fator de nitrogênio foi significativo para a AACPD de oídio (Tabela 1; Figura1). AACPDs da ferrugem da folha e da giberela foram significativamente influenciadas pelos fatores cultivar e fungicida em ambos os anos, mas o fator nitrogênio não foi significativo (Tabela 1; Figura1).

As quatro doenças detectadas (Figura1) causaram dano foliar, reduzindo *Fv/Fm*. O efeito da cultivar foi significativo ($p < 0.05$) para *Fv/Fm*, sendo que a cultivar TBIOTibagi apresentou uma redução maior em comparação à TBIOAudaz. A drástica redução observada em *Fv/Fm* para ambas as cultivares em decorrência das doenças (Figura2), deve-se à fotoinibição e danos ao fotossistema II (PSII). Ademais, foi observado que a interação fungicida × nitrogênio foi significativa ($p < 0.05$) para a *Fv/Fm* (Tabela 1), demonstrando que o fungicida e o nível de nitrogênio contribuíram de forma conjunta na redução de doença, mitigando o dano fotossintético.

Os fatores cultivar e fungicida foram significativos ($p < 0.05$) para o PH, enquanto os três fatores (cultivar, fungicida e nitrogênio) foram significativos ($p < 0.05$) para a produtividade (Tabela 2). No caso da PS e GS, os fatores cultivar e nitrogênio foram significativos, enquanto que para NQG somente o fator cultivar foi significativo ($p < 0.05$).

Além disso, interações significativas ($p < 0.05$), como cultivar×nitrogênio e cultivar × fungicida. A interação cultivar×nitrogênio foi significativa para AACPD da mancha amarela, enquanto a interação cultivar × fungicida foi significativa para a AACPD da ferrugem da folha (Tabela 1). Para as variáveis de produtividade e qualidade de trigo a interação cultivar×nitrogênio foi significativa para PS, GS e NQG (Tabela 2; Figura 3), enquanto a interação cultivar × fungicida foi significativa para o PH (Tabela 2). Conteúdo de proteína elevado foi detectado na cultivar TBIOTibagi em comparação à TBIOAudaz, enquanto que incremento no conteúdo de proteína foi observado devido ao aumento na dose de nitrogênio (Figura 3B).

Conclusões

A combinação de cultivar de resistência moderada com uma dose adequada de nitrogênio (130 kg ha⁻¹), bem como a aplicação de pré-mistura de fungicida, reduziu a AACPD das doenças e aumentou a produtividade de grãos e melhorou a qualidade tecnológica de trigo.

A redução na eficiência do fotossistema II (*Fv/Fm*) mostrou relação com o dano causado pelas doenças, que está diretamente relacionado às disfunções fotossintéticas decorrentes das doenças, e que, consequentemente, impactou na produtividade de grãos e na qualidade tecnológica de trigo.

A dose recomendada de 130 kg ha⁻¹ teve efeito similar à dose de 200 kg ha⁻¹ na redução da mancha amarela e na produtividade de grãos para ambas as cultivares, mantendo valores adequados dos parâmetros de qualidade tecnológica de trigo.