

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Estratégias de adubação nitrogenada em trigo, efeitos na qualidade tecnológica

Eliana Maria Guarienti⁽¹⁾, Fabiano Daniel De Bona⁽¹⁾, Genei Antonio Dalmago⁽¹⁾, Sandra Mara Vieira Fontoura⁽²⁾, Sérgio Ricardo Silva⁽³⁾, Adilson de Oliveira Junior⁽⁴⁾, Marcos Caraffa⁽⁵⁾, João Leonardo Fernandes Pires⁽¹⁾, Jorge Alberto de Gouvêa⁽¹⁾ e Sirio Wiethölter⁽¹⁾

⁽¹⁾ Pesquisadores, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS. ⁽²⁾ Pesquisadora, Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, Guarapuava, PR. ⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Florestas, Colombo, PR. ⁽⁴⁾ Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽⁵⁾ Professor, Sociedade Educacional Três de Maio, Três de Maio, RS.

Resumo – A adubação nitrogenada na cultura do trigo é uma prática que pode influenciar a qualidade tecnológica, porém, seus efeitos em alguns de seus parâmetros ainda merecem maior detalhamento. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de estratégias de aplicação parcelada de N, durante o ciclo de cultivares de trigo em diferentes ambientes de produção. Os experimentos foram realizados no Paraná e no Rio Grande do Sul, distribuídos em seis regiões fisiográficas distintas, as quais, em combinação com dois anos em cada local (2016 a 2018), resultaram em 12 ambientes. Os tratamentos constaram de três cultivares com perfil contrastante em relação à força de glúten (BRS Guaraim – baixa, BRS Guamirim – média e BRS Marcante – forte) e seis estratégias de aplicação de N: controle sem aplicação de N e aplicação em cobertura de 90 kg N ha⁻¹ em cinco combinações de fracionamento, aplicada na fase vegetativa, no perfilhamento, no alongamento do colmo e na emergência da espiga. Foram avaliados o teor de proteína, o glúten úmido e a força de glúten. Diferenças significativas no aumento dos indicadores de qualidade com a aplicação parcelada de N ocorreram em número reduzido de ambientes e, em geral, independentemente da estratégia de fracionamento. Tratamentos que incluíam a aplicação de parte da dose de N tardiamente foi pouco efetiva para incrementar os indicadores de qualidade avaliados. A ausência de adubação com N mostrou reduzir os teores de proteína nos grãos e de glúten úmido. As cultivares apresentaram variabilidade nas respostas aos tratamentos nos ambientes.

Termos para indexação: *Triticum aestivum* L., nitrogênio, força de glúten (W), teor de proteína nos grãos, glúten úmido.

Nitrogen fertilization strategies for wheat: effects on technological quality

Abstract – Nitrogen fertilization in wheat cultivation is a practice that can influence technological quality, but its effects on some of its parameters still deserve more detail. The aim of this study was to evaluate the effect of strategies for applying N in installments during the cycle of wheat cultivars in different production environments. The experiments were carried out in

Embrapa Trigo
Rodovia BR-285, km 294
Caixa Postal 78
99022-100 Passo Fundo, RS
www.embrapa.br/trigo
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Leila Maria Costamilan

Membros

Alberto Luiz Marsaro Júnior,
Eliana Maria Guarienti, João
Leodato Nunes Maciel, João
Leonardo Fernandes Pires,
Joaquim Soares Sobrinho, Jorge
Alberto de Gouvêa, Martha
Zavariz de Miranda e Sirio
Wiethölter

Normalização bibliográfica

Graciela Olivella Oliveira
(CRB-10/1434)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Márcia Barrocas Moreira Pimentel

Publicação digital: PDF

Todos os direitos
reservados à Embrapa.

Paraná and Rio Grande do Sul, in six different physiographic regions, which, combined with two years in each location (2016 to 2018), resulted in 12 environments. The treatments consisted of three cultivars with contrasting gluten strength profiles (BRS Guaraim – low, BRS Guamirim – medium and BRS Marcante – strong) and six N application strategies: control with no N application and top dressing of 90 kg N ha⁻¹ in five combinations, applied in the vegetative fase, tillering, stem elongation and ear emergence. Protein content, wet gluten and gluten strength were assessed. Significant differences in the increase in quality indicators with the application of N in installments occurred in a small number of environments and, in general, regardless of the installment strategy. Treatments that included applying part of the N dose late were not very effective in increasing the quality indicators evaluated. The absence of N fertilization was shown to reduce grain protein and wet gluten content. The cultivars showed variability in their responses to the treatments in the environments.

Index terms: *Triticum aestivum* L., nitrogen, gluten strength (W), grain protein content, wet gluten.

Introdução

O trigo é um dos principais cereais utilizados na dieta dos brasileiros. A demanda estimada, em 2023, foi de 14,7 milhões de toneladas e, considerando-se que a safra nacional de trigo, naquele ano, foi de 8,1 milhões de toneladas produzidas e que 2,4 milhões de toneladas foram exportadas, ainda foi necessária a importação de 39% da demanda interna (Acompanhamento [...], 2024).

De acordo com Cunha et al. (2016), o cultivo de trigo no Brasil estende-se por regiões que abrangem, climaticamente, zonas temperadas, subtropicais e tropicais, que vão desde o extremo sul do País até o paralelo 11° S. A área potencialmente cultivável com trigo no Brasil, admitindo-a para uso com cultivos temporários, pode chegar a mais de 47 milhões de hectares (Projeto MapBiomass, 2023). Não obstante, com a ocupação de apenas 3 milhões e 86 mil hectares em 2023 (Acompanhamento [...], 2024), fica evidente que entraves de natureza técnica, de comercialização e de política agrícola ainda persistem e limitam a expansão da triticultura nacional. Entre os desafios técnicos, a manutenção da qualidade tecnológica de trigo em regiões com interação genótipo x ambiente (G x A) complexa é um obstáculo, especialmente nos estados da Região Sul, conforme observado no levantamento da qualidade

tecnológica das safras 2015, 2016 e 2017, realizado por Guarienti et al. (2019). Nesta região, a produção de trigo está concentrada em dois estados, Paraná (PR) e Rio Grande do Sul (RS), que foram responsáveis por 40 e 43%, respectivamente, da produção total de trigo do país em 2023 (IBGE, 2024).

No Brasil, a regulamentação dos padrões de qualidade de farinha e de grãos de trigo é de competência do Ministério da Agricultura e Pecuária, que estabelece requisitos mínimos de identidade e qualidade. A Instrução Normativa (IN) nº 8, de 2 de junho de 2005 (Brasil, 2005), estabelece o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo, que classifica a farinha em Tipos. Um dos requisitos é o teor de proteína de, no mínimo, 7,5% em base seca para a farinha Tipo 1 e 8,0% para os Tipos 2 e integral. A Instrução Normativa (IN) nº 38, de 30 de novembro de 2010 (Brasil, 2010), denominada Regulamento Técnico do Trigo, classifica o trigo em Grupos, Classes e Tipos. As Classes são determinadas pela força de glúten (W), estabilidade e número de queda, permitindo a classificação em trigo Melhorador, Pão, Doméstico, Básico e Outros Usos. Além das INs, as indústrias de moagem seguem padrões próprios de qualidade, conforme as exigências dos fabricantes de produtos derivados do trigo (padarias, indústrias de panificação, de massas alimentícias, biscoitos, etc.). Os requisitos incluem, entre outros, os parâmetros força de glúten (W), tenacidade (P) relação tenacidade/extensibilidade (P/L) da alveografia, absorção de água e estabilidade, da farinografia, número de queda do grão, bem como luminosidade (L*) e tendência à cor vermelha (a*), da cor de farinha (Reunião [...], 2023).

Para atender às demandas por qualidade e quantidade de trigo, têm sido conduzidas pesquisas por empresas públicas e privadas, que vão desde a criação de cultivares até o estudo de fatores que podem maximizar a qualidade tecnológica e o rendimento de grãos. O manejo da adubação nitrogenada tem sido uma das práticas indicadas aos tricultores brasileiros, com vistas ao aumento do rendimento de grãos e, embora com ressalvas, em relação ao impacto no teor de proteína nos grãos e na força de glúten (Reunião [...], 2023).

Para o rendimento de grãos, os Manuais de Calagem e Adubação para os Estados do RS e de SC (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016) e para o estado do PR (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017) orientam que a quantidade de fertilizante nitrogenado a ser aplicada na cultura do trigo deve variar em função do teor de matéria orgânica do solo, da cultura precedente (leguminosa ou gramínea) e da expectativa de rendimento de grãos.

No RS e em SC, a dose de nitrogênio (N) a ser aplicada na semeadura deve variar de 15 a 20 kg ha⁻¹, sendo o restante aplicado em cobertura entre os estádios de perfilhamento e alongamento do colmo. Para as doses mais elevadas de N em cobertura, pode-se optar pelo fracionamento em duas aplicações: no início do afilhamento e o restante no início do alongamento. As indicações são de que, para expectativas de rendimento superiores a 3 t ha⁻¹ de trigo, deve-se acrescentar 20 kg ha⁻¹ de N (após leguminosa) e 30 kg ha⁻¹ de N (após gramínea), por tonelada adicional de grãos a ser produzida. No PR, a adubação nitrogenada deve ser realizada de modo parcelado, aplicando na semeadura de 10 a 30 kg ha⁻¹, se a cultura antecessora for soja, e de 25 a 50 kg ha⁻¹, se for milho, com o restante em cobertura, 30 a 90 kg ha⁻¹ (pós soja) e 30 a 100 kg ha⁻¹ (pós milho).

Além do efeito positivo no rendimento de grãos, o N na cultura do trigo está intimamente ligado aos processos fisiológicos e metabólicos que definem os indicadores de qualidade tecnológica dos grãos (Miranda et al., 2011). A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2016) salienta que a aplicação tardia de N pode aumentar o teor de proteína nos grãos, muito embora o acréscimo desta característica de qualidade, não necessariamente, altere o valor da força de glúten (W), de forma a modificar a classificação comercial do trigo. Estas orientações vêm sendo adotadas desde 2013, pela Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, a entidade que congrega instituições de pesquisa e diversos representantes do complexo agroindustrial tritícola, contribuindo com informações para a publicação anual da entidade (Reunião [...], 2023).

A dinâmica do N no ambiente é complexa, envolvendo interações múltiplas com o solo, em diferentes níveis, para que as plantas possam responder tanto em qualidade tecnológica quanto em rendimento de grãos. A disponibilidade de N para as plantas, no solo, está relacionada principalmente com o tipo de solo, a quantidade e a diversidade da matéria orgânica, as interações ecológicas dos microrganismos e com os elementos meteorológicos/ambientais, especialmente temperatura e disponibilidade de água. Outros fatores podem influenciar, positiva ou negativamente, na dinâmica do N, tais como: estratégia de adubação nitrogenada (dose, fonte, forma e momento de aplicação, etc.) (Ferreira et al., 2021; Souza et al., 2021); modelo de sistema de produção de grãos; preparo do solo; manejo da cultura e genótipos utilizados (Marinho et al., 2022b). Sobre o efeito de manejo nos indicadores de qualidade tecnológica

dos grãos de trigo, estudos demonstraram que a época de aplicação e o fracionamento da adubação nitrogenada podem ser mais importantes do que a quantidade total de N aplicada (Fuentes-Mendizábal et al., 2010; Johansson et al., 2004). Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de estratégias de aplicação parcelada de N, durante o ciclo de cultivares de trigo em diferentes ambientes de produção, sobre as variáveis teor de proteína nos grãos, teor e força de glúten, em três cultivares que, reconhecidamente, apresentam perfil contrastante para força de glúten. Este trabalho está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2 e 12 da ONU, a saber: fome zero e agricultura sustentável e consumo e produção responsáveis, respectivamente.

Material e métodos

Experimentos foram realizados em campo, em plantio direto, entre 2016 e 2018, em seis localidades no RS e três no PR, distribuídas em seis diferentes regiões fisiográficas, representando condições edafoclimáticas distintas, conforme consta na Tabela 1. Os dados meteorológicos dos diferentes locais e anos dos experimentos são apresentados na Tabela 2, com destaque para a ocorrência dos eventos La Niña em 2016 e 2017, e El Niño em 2018 (Estados Unidos, 2024). As combinações entre ano e local permitiram estudar as respostas das plantas aos tratamentos, em 12 ambientes diferentes, conforme a Tabela 3.

Em Guarapuava os ensaios foram realizados em parceria com a Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (Fapa/Agrária); em Londrina e Ponta Grossa, com a Embrapa Soja; em Muito Capões, com a NBN Sementes; em Três de Maio, com a Sociedade Educacional Três de Maio (Setrem) e, em Vacaria, com a Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do Estado do RS. Os ensaios de Passo Fundo e Coxilha foram conduzidos pela Embrapa Trigo.

Amostras de solo foram previamente coletadas, na camada de 0–20 cm, e os resultados das análises para teor de argila e características químicas do solo, nos diferentes locais e anos de condução dos experimentos, são apresentados na Tabela 3.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas e três repetições. Os tratamentos constaram de cultivares de trigo e estratégias de aplicação de N. As parcelas principais consistiram das cultivares de trigo BRS Guamirim, BRS Guaraim e BRS

Tabela 1. Características edafoclimáticas dos ambientes de condução dos experimentos de estratégia de manejo da adubação nitrogenada em trigo, nos anos de 2016 a 2018, no Rio Grande do Sul (RS) e no Paraná (PR).

Ambiente		RHACT ⁽¹⁾	Coordenadas geográficas		Altitude (m)	Média anual da temperatura do ar (°C)			Média anual da precipitação pluvial (mm)	Classificação climática de Köppen ⁽²⁾	Tipo de solo ⁽³⁾
Local	Ano		Latitude	Longitude		Média	Mínima	Máxima			
Coxilha, RS ⁽⁴⁾	2017	1	28°07'S	52°33'W	721	17,7	12,6	22,3	1.788	Cfa	Latossolo Vermelho Distrófico típico
Guarapuava, PR	2017 e 2018	1	25°21'S	51°30'W	1.058	17,2	12,9	23,5	1.925	Cfb	Latossolo Bruno Distrófico típico
Londrina, PR	2016 e 2017	3	23°11'S	51°11'W	628	21,1	16,0	27,3	1.588	Cfa	Latossolo Vermelho Eutroférico
Muitos Capões, RS ⁽⁴⁾	2016	1	28°51'S	50°94'W	985	16,1	10,4	21,7	1.844	Cfb	Latossolo Vermelho Distroférico típico
Passo Fundo, RS ⁽⁴⁾	2018	1	28°24'S	52°34'W	687	17,7	12,6	22,3	1.803	Cfa	Latossolo Vermelho Distrófico típico
Ponta Grossa, PR	2016 e 2017	1	25°09'S	50°04'W	886	16,9	11,1	22,6	1.574	Cfb	Latossolo Vermelho Distrófico típico
Três de Maio, RS	2016 e 2018	2	27°78'S	54°25'W	343	20,8	15,4	25,8	1.770	Cfa	Latossolo Vermelho Distroférico típico
Vacaria, RS ⁽⁴⁾	2017	1	28°30'S	50°56'W	971	16,1	10,4	21,7	1.844	Cfb	Latossolo Bruno Aluminico típico

⁽¹⁾ Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo: 1 – Fria e úmida; 2 – Moderadamente quente e úmida; 3 – Quente e moderadamente seca, de acordo com Cunha et al. (2016).

⁽²⁾ Baseado em Alvares et al. (2013).

⁽³⁾ Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, Santos et al. (2018).

⁽⁴⁾ Municípios limítrofes pertencentes ao mesmo macroambiente: Coxilha e Passo Fundo (região do Planalto Médio) e Muitos Capões e Vacaria (região dos Campos de Cima da Serra).

Tabela 2. Precipitação pluvial (Ppt) acumulada durante o período de cultivo do trigo⁽¹⁾, média das temperaturas mínimas e máximas do ar ocorridas durante a condução dos experimentos de estratégia de manejo da adubação nitrogenada, nos locais e anos de cultivo e respectivos valores normais.

Local de semeadura	Ppt acumulada (mm)				Temperatura mínima (°C)				Temperatura máxima (°C)			
	Valor normal ⁽²⁾	2016	2017	2018	Valor normal	2016	2017	2018	Valor normal	2016	2017	2018
Guarapuava, PR	690,0	—	715,2	538,0	11,4	—	10,3	10,4	22,6	—	23,4	21,8
Londrina, PR	375,6	456,6	400,4	—	13,7	12,8	13,9	—	25,3	23,4	23,4	—
Coxilha (2017) e Passo Fundo (2018), RS ⁽³⁾	771,7	—	653,5	928,9	11,3	—	11,5	11,2	21,7	—	23,2	22,2
Ponta Grossa, PR	561,4	520,4	525,4	—	11,4	10,2	12,3	—	22,5	21,5	23,4	—
Três de Maio, RS	532,6	515,2	—	496,8	12,4	11,2	—	12,0	22,6	23,4	—	23,4
Muitos Capões (2016) e Vacaria (2017), RS ⁽³⁾	604,5	664,6	559,8	—	9,7	9,1	10,9	—	20,8	20,2	22,4	—

⁽¹⁾ Período: abril-agosto. (Londrina, 2017); maio-setembro (Londrina, 2016); junho-outubro (Três de Maio); junho-novembro (Coxilha e Ponta Grossa); julho-novembro (Guarapuava e Passo Fundo); julho-dezembro (Muitos Capões); e agosto-dezembro (Vacaria).

⁽²⁾ Fonte: Guarapuava, Londrina e Ponta Grossa - Paraná (2022); Passo Fundo e Vacaria - Inmet (2022); Três de Maio (temperaturas máxima e mínima, informação de Santa Rosa, e precipitação pluvial, de Giruá) - Wrege et al. (2011).

⁽³⁾ Municípios limítrofes pertencentes ao mesmo macroambiente: Coxilha e Passo Fundo (região do Planalto Médio) e Muitos Capões e Vacaria (região dos Campos de Cima da Serra).

Tabela 3. Teor de argila e características químicas do solo (camada 0–20 cm) nos diferentes locais e anos de condução dos experimentos de estratégia de manejo da adubação nitrogenada em trigo.

Ambiente de condução do experimento	Argila	pH água	P ⁽¹⁾	K ⁽²⁾	MO ⁽³⁾	Al ⁽⁴⁾	Ca ⁽⁵⁾	Mg ⁽⁶⁾
	(g dm ⁻³)		(Mg.dm ⁻³)	(%)	(mmol _c .dm ⁻³)			
Coxilha, RS 2017	460	6,0	15	142	3,7	0,0	75,3	32,6
Guarapuava, PR 2017	580	5,9	15	140	5,9	0,0	156,0	38,5
Guarapuava, PR 2018	583	6,2	18	142	5,7	0,0	198,5	41,2
Londrina, PR 2016	675	6,1	9	320	2,3	0,0	50,3	20,2
Londrina, PR 2017	676	6,1	18	321	2,3	0,0	35,0	11,3
Muitos Capões, RS 2016	600	5,8	31	270	5,2	0,0	101,4	38,3
Passo Fundo, RS 2018	550	5,8	36	278	3,1	0,0	66,9	31,5
Ponta Grossa, PR 2016	330	5,4	14	181	2,8	3,7	34,3	10,7
Ponta Grossa, PR 2017	332	5,1	14	190	2,9	0,0	41,0	11,2
Três de Maio, RS 2016	720	6,3	14	224	3,9	0,0	76,5	36,1
Três de Maio, RS 2018	730	5,7	10	155	3,2	1,4	66,9	28,4
Vacaria, RS 2017	443	6,1	7	325	4,9	0,0	71,9	42,7

(¹) Fósforo. (²) Potássio. (³) Matéria orgânica. (⁴) Alumínio. (⁵) Cálcio. (⁶) Magnésio.

Marcante. Nas subparcelas, formadas por 18 linhas de 6 m de comprimento e espaçamento de 0,17 m entre linhas (totalizando 18,4 m² de área), foram aplicados os tratamentos de adubação nitrogenada. Os tratamentos de N consistiram em cinco estratégias de manejo (EMN): EMN 1 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{2}{3}$ N no perfilhamento); EMN 2 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{2}{3}$ N no alongamento do colmo); EMN 3 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{1}{3}$ N no perfilhamento + $\frac{1}{3}$ N no alongamento do colmo); EMN 4 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{1}{3}$ N no perfilhamento + $\frac{1}{3}$ N no espigamento); EMN 5 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{1}{3}$ N no alongamento do colmo + $\frac{1}{3}$ N no espigamento); e EMN 6 (controle sem adubação nitrogenada, ou N zero). Para as aplicações dos tratamentos de manejo do N, foram definidos os seguintes intervalos fenológicos: a) vegetativo: da semeadura até o aparecimento do duplo anel; b) perfilhamento: do início do período reprodutivo até o aparecimento da espiguetta terminal; c) alongamento do colmo: após a formação da espiguetta terminal até o aparecimento da folha bandeira; d) espigamento: primeiras espigas recém visíveis.

A adubação de base consistiu em correções dos níveis de fósforo e de potássio incorporados ao solo no sulco de plantio, quando inadequados para o cultivo de trigo, em todos os tratamentos e ambientes. A dose total de adubação nitrogenada utilizada em cobertura foi de 90 kg ha⁻¹ de N, tendo como fonte o nitrato de amônio. A dose foi baseada na Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2016), indicada

para expectativa de rendimento de grãos superiores a 3 t ha⁻¹. Os tratamentos fitossanitários foram realizados conforme necessário, seguindo as diretrizes das Informações Técnicas para Trigo e Triticale – Safra 2016 (Reunião [...], 2016).

A escolha das cultivares considerou o perfil de qualidade tecnológica, especificamente na força de glúten (W), e o parentesco genético: BRS Guamirim (média força de glúten) e BRS Guaraim (baixa força de glúten) são provenientes do mesmo cruzamento, enquanto BRS Marcante (elevada força de glúten) é resultante do cruzamento com o produto de duas linhagens com BRS Guamirim (Reunião [...], 2023).

Amostras de grãos foram obtidas por meio da colheita das sete linhas centrais das subparcelas, o equivalente a 7,14 m² de área útil. Após secagem, o material (1,2 kg) foi separado para avaliação de qualidade tecnológica no Laboratório de Pós-colheita da Embrapa Trigo. As seguintes características foram analisadas: (a) teor de proteína dos grãos, quantificado por meio de espectroscopia no infravermelho próximo (NIRs) em equipamento marca FOSS (FOSS NIRSystems, Hoganas, Suécia), modelo XDS-RCA (XDS acoplado ao módulo Rapid Content Analyzer), de acordo com o método 39-10.01 da American [...] (2010); (b) força de glúten (W), análise realizada no aparelho alveoconsistógrafo (modelo NG, Chopin), segundo o método AACC 54-30.02 (American [...], 2010); e (c) teor de glúten úmido, quantificado no sistema Glutomatic, marca Perten, conforme método 38-12.02 da American [...] (2010).

Foram realizadas avaliações complementares (dados não apresentados) de peso do hectolitro, pelo método 55-10.01 da American [...] (2010), sendo os resultados expressos em kg hL⁻¹; de peso de mil grãos, pelo método descrito em Brasil (2009); de número de queda, pelo método 56-81.03 da American [...] (2010) e rendimento de grãos (kg ha⁻¹), obtido em cada subparcela, sendo que, após a secagem, os grãos foram pesados e os valores foram ajustados para 13% de umidade.

A análise estatística foi realizada com o programa estatístico R (R Core Team, 2024). Os testes iniciais demonstraram que a variabilidade da amostra de dados para as variáveis não atendia aos critérios para análise conjunta de todos os experimentos. Além disso, as transformações testadas para normalizar os resíduos dentro de cada agrupamento de experimentos não foram efetivas. Optou-se por realizar a análise de variância (ANOVA), por ambiente, considerando a combinação entre local e ano. O teste F ($P \leq 0,05$) foi empregado para identificar a significância do efeito dos fatores genótipo e estratégia de manejo de N e da interação entre os fatores. A comparação das médias, quando pertinente, foi realizada por meio do teste de Tukey ($P \leq 0,05$). A normalidade dos resíduos foi avaliada pelos testes de Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk e Anderson-Darling, enquanto a homogeneidade da variância foi verificada pelos testes F e de Breuch-Pagan, sendo todos os testes considerados a 5% de significância. A autocorrelação dos resíduos também foi avaliada pelos testes de Durbin-Watson (primeira ordem) e pelo teste de Breusch-Godfrey (segunda ordem) ($P \leq 0,05$), e foi corrigida quando necessário. A não-aditividade para blocos foi testada pelo teste de Tukey para aditividade ($P \leq 0,05$).

A associação entre as características de interesse (teor de proteína nos grãos, força de glúten e teor de glúten úmido e rendimento de grãos) foi obtida pela análise de correlação de Pearson, a 5% de significância. Este teste foi realizado no software StatSoft (2004).

A classificação quanto ao teor de proteínas (base seca) foi baseada na escala proposta por Williams et al. (1988) conforme segue: extra-alto ($\geq 17,6\%$), muito alto (15,6 a 17,5%), alto (13,6 a 15,5%), médio (11,6 a 13,5%), baixo (9,1 a 11,5%) e muito baixo ($\leq 9,0$).

A comparação entre valores extremos de teor de proteína dos grãos, força de glúten e teor de glúten úmido foi realizada considerando o valor mais alto e o mais baixo obtido ou a média de cada um destes (quando foi o caso), e sem sobreposição dos tratamentos intermediários.

Resultados e discussão

Teor de proteína nos grãos

Os resultados do teor de proteína nos grãos são apresentados na Tabela 4. O panorama geral para o teor de proteína nos grãos relativas às 216 combinações (três cultivares, seis tratamentos e 12 ambientes avaliados) demonstraram que, considerando a classificação de Williams et al. (1988), os valores foram enquadrados nas seguintes categorias: 50% como alto teor de proteína (variando de 13,6 a 15,5%); 32,4%, muito alto (15,6 a 17,5%); 13,4%, médio (11,7 a 13,5%); 2,3%, extra-alto (17,6 a 18,0%) e 1,9%, de baixo teor de proteína (de 10,7 a 11,5%). Teores extra-altos de proteína nos grãos foram obtidos

Tabela 4. Teor de proteína nos grãos (em %, base seca) das cultivares de trigo BRS Guamirim, BRS Guaraim e BRS Marcante em diferentes ambientes (locais e anos) em função de estratégias de manejo de nitrogênio.

Cultivar	Estratégia de manejo de nitrogênio ⁽¹⁾ /teor de proteína nos grãos						Média ⁽²⁾
	EMN 1	EMN 2	EMN 3	EMN 4	EMN 5	EMN 6	
Guarapuava, 2017							
BRS Guamirim	16,8 B a	17,3 A a	17,0 AB a	16,9 AB a	17,4 A a	14,9 C a	16,7
BRS Guaraim	16,0 A a	15,9 A a	15,6 A a	15,8 A a	15,7 A a	15,0 B a	15,7
BRS Marcante	15,2 B a	15,7 A a	15,6 AB a	15,5 AB a	15,9 A a	13,9 C a	15,3
Média	16,0	16,3	16,1	16,1	16,3	14,6	CV ⁽³⁾ : 4,4
Guarapuava, 2018							
BRS Guamirim	16,4	16,4	16,3	16,7	16,5	14,6	16,2 a
BRS Guaraim	14,6	14,9	14,8	15,0	15,3	13,3	14,6 b
BRS Marcante	14,5	14,2	14,1	14,7	14,6	12,9	14,2 b
Média	15,2 A	15,1 A	15,1 A	15,5 A	15,5 A	13,6 B	CV: 5,5

Continua...

Tabela 4. Continuação.

Cultivar	Estratégia de manejo de nitrogênio ⁽¹⁾ /teor de proteína nos grãos						Média ⁽²⁾
	EMN 1	EMN 2	EMN 3	EMN 4	EMN 5	EMN 6	
Coxilha, 2017							
BRS Guamirim	15,4 B a	16,2 AB a	16,7 AB a	16,4 AB a	17,0 A a	16,3 AB a	16,3
BRS Guaraim	15,4 A a	15,8 A a	15,4 A a	15,7 A a	15,9 A a	14,6 A a	15,5
BRS Marcante	15,3 BC a	17,2 A a	16,3 AB a	16,4 AB a	17,0 A a	14,0 C a	16,0
Média	15,4	16,4	16,1	16,2	16,6	15,9	CV: 5,8
Passo Fundo, 2018							
BRS Guamirim	15,5	15,7	15,8	15,4	15,1	14,9	15,4 a
BRS Guaraim	13,5	13,7	13,3	13,4	13,8	13,1	13,5 b
BRS Marcante	13,6	13,8	14,0	13,9	14,0	13,0	13,7 b
Média	14,2 AB	14,4 A	14,4 A	14,2 AB	14,3 AB	13,7 B	CV: 3,6
Ponta Grossa, 2016							
BRS Guamirim	15,0	15,2	14,9	15,5	15,7	13,7	15,0 a
BRS Guaraim	13,8	14,1	13,8	14,5	14,3	13,0	13,9 b
BRS Marcante	13,6	13,8	13,8	14,4	14,2	12,8	13,8 b
Média	14,1 C	14,4 BC	14,2 C	14,8 A	14,7 AB	13,2 D	CV: 4,5
Ponta Grossa, 2017							
BRS Guamirim	16,9	17,6	17,3	17,3	17,4	16,7	17,2 a
BRS Guaraim	15,4	14,8	15,7	15,6	16,1	14,9	15,4 b
BRS Marcante	15,6	15,7	15,2	15,5	15,8	14,0	15,3 b
Média	16,0 AB	16,0 AB	16,1 AB	16,2 A	16,4 A	15,2 B	CV: 5,0
Muitos Capões, 2016							
BRS Guamirim	13,9	15,2	14,0	15,4	16,7	15,0	15,0 a
BRS Guaraim	12,5	13,7	13,8	14,7	15,2	13,1	13,8 b
BRS Marcante	10,7	11,6	11,1	12,6	13,1	11,4	11,7 c
Média	12,4 D	13,5 C	13,0 CD	14,2 B	15,0 A	13,2 C	CV: 5,0
Vacaria, 2017							
BRS Guamirim	17,1	17,5	17,9	18,0	18,0	16,7	17,5 a
BRS Guaraim	14,7	14,6	15,0	14,9	15,0	14,2	14,7 b
BRS Marcante	14,3	14,2	14,6	15,5	15,4	13,5	14,6 b
Média	15,4 BC	15,4 BC	15,8 AB	16,1 A	16,1 A	14,8 C	CV: 4,8
Três de Maio, 2016							
BRS Guamirim	14,3 C a	15,8 AB a	15,1 B a	15,7 AB a	16,1 A a	13,6 C a	15,1
BRS Guaraim	13,6 A a	13,4 A b	13,5 A b	13,9 A b	13,8 A b	11,7 B b	13,3
BRS Marcante	13,7 B a	14,0 AB b	13,8 B ab	14,5 A ab	14,3 AB b	11,9 C b	13,7
Média	13,8	14,4	14,1	14,7	14,7	12,4	CV: 6,5
Três de Maio, 2018							
BRS Guamirim	15,5 A a	15,9 A a	15,9 A a	15,7 A a	15,7 A a	14,3 B a	15,5
BRS Guaraim	14,2 AB b	14,5 A b	14,4 A b	14,4 A b	14,5 A a	13,4 B ab	14,2
BRS Marcante	15,5 A a	15,4 A ab	15,3 A ab	14,3 B b	15,2 A a	12,9 C b	14,8
Média	15,1	15,3	15,2	14,8	15,1	13,5	CV: 4,7

Continua...

Tabela 4. Continuação

Cultivar	Estratégia de manejo de nitrogênio ⁽¹⁾ /teor de proteína nos grãos						Média ⁽²⁾
	EMN 1	EMN 2	EMN 3	EMN 4	EMN 5	EMN 6	
Londrina, 2016							
BRS Guamirim	17,2	17,7	17,4	17,4	16,9	16,3	17,1 a
BRS Guaraim	15,9	16,4	16,1	16,7	15,9	14,4	15,9 c
BRS Marcante	16,5	16,6	16,4	16,4	16,4	14,6	16,1 b
Média	16,5 A	16,9 A	16,6 A	16,8 A	16,4 A	15,1 B	CV: 4,8
Londrina, 2017							
BRS Guamirim	12,5	14,0	13,5	13,7	12,9	11,5	13,0 ns
BRS Guaraim	14,0	13,4	13,0	12,9	13,9	12,0	13,2
BRS Marcante	13,1	14,1	14,2	13,8	13,8	14,0	13,8
Média	13,2 ns	13,8	13,6	13,5	13,5	12,5	CV: 9,5
Média geral = 14,9% (base seca).							

⁽¹⁾ EMN 1 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{2}{3}$ N no perfilhamento); EMN 2 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{2}{3}$ N no alongamento do colmo); EMN 3 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{1}{3}$ N no perfilhamento + $\frac{1}{3}$ N no alongamento do colmo); EMN 4 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{1}{3}$ N no perfilhamento + $\frac{1}{3}$ N no espigamento); EMN 5 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{1}{3}$ N no alongamento do colmo + $\frac{1}{3}$ N no espigamento); e EMN 6 (sem adubação com N).

⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, e pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

⁽³⁾ Coeficiente de variação do ensaio, em %.

^{ns} Não significativo.

somente na cultivar BRS Guamirim em Ponta Grossa, 2016 (EMN 2), Vacaria, 2017 (EMN 3, 4 e 5) e Londrina, 2016 (EMN 2). Os menores teores de proteína nos grãos foram obtidos em BRS Marcante nas EMN 1, 3 e 6, em Muitos Capões (2016) e em BRS Guamirim (EMN 6), em Londrina (2017), em valores absolutos.

Quatro ambientes apresentaram interação significativa entre genótipos e EMN. Nestes, o tratamento sem aporte de N predominou com o menor teor de proteína nos grãos em comparação aos demais tratamentos e independentemente da cultivar.

Em diversas situações [(Guarapuava (2017), na BRS Guamirim e BRS Marcante nas EMN 2 e 5; em Coxilha (2017), na BRS Guamirim (EMN 5) e BRS Marcante (EMN 2 e 5); em Três de Maio (2016) na BRS Guamirim (EMN 5) e BRS Marcante (EMN 4) e em Três de Maio (2018) na BRS Guaraim (EMN 2, 3 e 4) e BRS Marcante (EMN 1, 2, 3 e 5)] as EMN com aporte de N se destacaram por apresentar os maiores teores de proteína nos grãos.

Embora essas EMN tenham apresentado os maiores teores de proteína nos grãos, em vários casos [(Guarapuava (2017), na BRS Guamirim e BRS Marcante nas EMN 3 e 4; em Coxilha (2017), na BRS Guamirim (EMN 2, 3, 4 e 6) e BRS Marcante (EMN 3 e 4); em Três de Maio (2016) na BRS Guamirim (EMN 2 e 4) e BRS Marcante (EMN 2 e 5) e em Três de Maio (2018) na BRS Guaraim (EMN 1) não apresentaram diferença significativa de outros

tratamentos com aporte de N, mostrando que as EMN podem apresentar resultados pontuais distintos, o que dificulta estabelecer indicação segura de qualquer EMN, mesmo que regionalizada.

Ainda nestes quatro ambientes, considerando o(s) valor(es) obtido(s) no(s) melhor(es) tratamento(s), foram observados incrementos médios no teor de proteína em função do aporte de N que variaram de 0,7% (Coxilha, 2017) a 2,5% (Guarapuava, 2017 e Três de Maio, 2016) em BRS Guamirim; de 0,8% (Guarapuava, 2017) a 1,9% (Três de Maio, 2016) em BRS Guaraim e de 1,9% (Guarapuava, 2017) a 3,1% (Coxilha, 2017) em BRS Marcante, comparativamente ao tratamento zero N.

A interação entre genótipos e as EMN não foi significativa ($p \leq 0,05$) em oito dos 12 ambientes para o teor de proteína nos grãos. O estudo mais detalhado do efeito simples dos tratamentos, nestes ambientes, revelou que, com exceção de Muitos Capões, 2016 e Londrina, 2017 (que não houve diferença significativa), o tratamento N zero (EMN 6) apresentou os menores teores de proteína nos grãos, embora, em algumas situações (Passo Fundo, 2018; Ponta Grossa, 2017 e Vacaria, 2017), este tratamento não tenha diferido significativamente de outra(s) EMN.

Apesar de alguns tratamentos terem se destacado com os maiores teores de proteína nos grãos (EMN 2 e 3 em Passo Fundo, 2018; EMN 4 em Ponta Grossa, 2016; EMN 4 e 5 em Ponta Grossa

e Vacaria, 2017 e EMN 5 em Muitos Capões), em diversas situações (EMN 1, 4 e 5 em Passo Fundo, 2018; EMN 5 em Ponta Grossa, 2016; EMN 1, 2 e 3 em Ponta Grossa, 2017 e EMN 3 em Vacaria, 2017) não foram observadas diferenças significativas de outro(s) tratamento(s) com aporte de N, o que demonstra que a indicação de alguma EMN específica não seria suficientemente segura com vistas ao incremento do valor desta característica de qualidade.

A variabilidade de resultados obtidos no presente trabalho está em consonância com os autores De Pauw e Townley-Smith (1988) que concluem que o conteúdo de proteína do grão de trigo pode ser influenciado por diversos fatores como pelo local de cultivo, pelas condições climáticas, pelas práticas culturais (rotação de cultura, adubação nitrogenada, entre outras), pelas doenças e pragas e, também, pelo genótipo. A influência da adubação nitrogenada no teor de proteína nos grãos de trigo foi amplamente estudada no Brasil (Corassa et al., 2018; Silva et al., 2019; Souza et al., 2019; Marinho et al., 2022a). O efeito da adubação nitrogenada na qualidade também tem sido estudado em diversos países, como na Itália (Blandino et al., 2020), Japão (Nakano et al., 2008) e Alemanha (Xue et al., 2019). Estes estudos corroboram os resultados obtidos neste trabalho, ou seja, em determinadas condições ambientais a adubação nitrogenada pode incrementar o teor de proteína nos grãos e, em outras condições, até mesmo reduzir o valor desta característica de qualidade. Ficou evidente no trabalho a mudança de comportamento em um mesmo local de uma safra para outra, indicando que a variação interanual em um mesmo local pode acarretar em variação na resposta dos genótipos as estratégias de adubação nitrogenada. Portanto, os resultados deste trabalho reforçam a necessidade de explorar os fatores que influenciam e determinam a variabilidade interanual do teor de proteína nos grãos de trigo, para a definição das melhores estratégias de manejo da cultura, com vista a obtenção de matérias primas diferenciadas em teor de proteína e/ou da relação proteína x amido nos grãos.

A cultivar BRS Marcante, por sua força de glúten elevada [média de 255×10^{-4} J e de 288×10^{-4} J, nas Regiões Homogêneas de Adaptação de Cultivares de Trigo (RHACT) 1 e 2 do Rio Grande do Sul, respectivamente, e 259×10^{-4} J, na RHACT 1 do Paraná], é indicada para panificação e, entre os requisitos de qualidade para esta aptidão industrial, o teor mínimo de proteínas nos grãos é de 12,5% em base seca (Reunião [...]. 2023).

Muitos Capões (2016) foi o ambiente em que o teor de proteína obteve a média mais baixa (11,7%)

para a cultivar BRS Marcante. Uma das possíveis causas do baixo teor de proteína nos grãos observado nesse ambiente pode estar relacionada aos efeitos de variáveis meteorológicas, em especial, da variação de temperatura. Verificou-se que as médias das temperaturas mínima ($9,1^{\circ}\text{C}$) e máxima ($20,2^{\circ}\text{C}$) registradas durante o ciclo da cultura no campo foram inferiores às observadas na série histórica, com, respectivamente, $9,7$ e $20,8^{\circ}\text{C}$ (Tabela 2).

De acordo com os registros do Inmet (2023), foram apontados 12 episódios de geada em Muitos Capões em 2016, sendo uma moderada e duas de fraca magnitude, ocorridas durante o alongamento do colmo. Os rendimentos elevados de grãos registrados em todas as EMN (média de 4.451 kg ha^{-1}) evidenciaram que o desenvolvimento da BRS Marcante no campo foi favorecido e, portanto, eventuais efeitos deletérios das geadas, ocorridas no alongamento do colmo, não prejudicaram a referida cultivar, fato que poderia justificar o menor conteúdo de proteínas nos grãos. Adicionalmente aos fatores ambientais relacionados às condições meteorológicas, que poderiam ter contribuído para a redução do teor de proteína nos grãos (Tabela 2), verificou-se que, em Muitos Capões (2016), a precipitação pluvial acumulada durante o período de permanência da cultura no campo ($664,6 \text{ mm}$) foi superior à observada na série histórica ($604,5 \text{ mm}$). No entanto, essa condição de precipitação pluvial não parece ter sido a principal causa da redução da proteína nos grãos de trigo em Muitos Capões naquele ano. O elevado rendimento de grãos associado ao adequado enchimento de grãos (peso de mil grãos médio de $36,9 \text{ g}$), sugere que a redução no teor de proteína pode ter ocorrido em decorrência do efeito de diluição do N, conforme proposto por Barneix (2007).

Barneix (2007) também detalhou dois possíveis mecanismos que podem explicar o menor conteúdo de proteínas nos grãos. No primeiro caso, quando a disponibilidade de N no solo é limitada e a absorção de N pode não satisfazer a demanda da planta. Como consequência, ocorre diminuição na produção de citocinina, que induz à degradação de proteínas foliares. Os aminoácidos liberados dessa maneira são exportados para a espiga por meio do floema, onde são usados para sintetizar as proteínas dos grãos. No entanto, como a exportação de carbono é pouco afetada pela deficiência de N, ele continua sendo acumulado no grão, sem restrições, diminuindo, assim, a concentração de proteínas. O segundo mecanismo está relacionado à alta disponibilidade de N no solo. Nestas condições, a absorção de N pela raiz é reprimida, devido à alta concentração de aminoácidos nos tecidos vegetais, resultando em

menor absorção de N. Por outro lado, a alta quantidade de N na planta mantém alto o teor de citocininas, de forma que as proteínas RuBisCO (ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase) da folha são degradadas em menor intensidade, implicando, como consequência, em baixo transporte de aminoácidos livres para os grãos, e, uma vez que a razão entre a concentração de carbono e N no floema não diminui, há maior acúmulo de amido nos grãos em detrimento do teor de proteína.

No presente estudo, duas EMN contemplaram aplicação tardia de N no espigamento, as EMN 4 e 5. Embora em dois ambientes (Ponta Grossa e Muitos Capões, 2016) foram observados o incremento do teor de proteína nos grãos quando do emprego da aplicação tardia de N, na grande maioria dos casos não foi observada diferença significativa em relação a outra(s) estratégia(s) com aporte de N mais antecipada ao espigamento.

Orloff et al. (2012) relataram que o N absorvido pelas plantas de trigo antes do emborrachamento/antese determina, primordialmente, os componentes da produção, como número de perfilhos e número e tamanho de grãos por espiga, observando-se pouco ou nenhum efeito na concentração de proteína no grão. De modo inverso, o N absorvido na fase tardia da cultura do trigo (pós-emborrachamento/antese) tem pouco efeito na produção e maior impacto na concentração de proteínas.

A falta de resposta das cultivares estudadas no teor de proteína nos grãos, relativamente à

aplicação de tardia de N, pode ser explicada por Triboi e Triboi-Blondel (2002) que relataram que as condições ambientais são responsáveis por mais da metade do resultado desta característica, sendo apenas uma proporção menor determinada por fatores genéticos.

Giordano et al. (2023) realizaram uma meta-análise (com dados de 1980 a 2021), contemplando pesquisas sobre aplicação tardia de N e seus efeitos no conteúdo de proteínas nos grãos. Concluíram que o acréscimo deste indicador de qualidade está associado à combinação das práticas de manejo e dos fatores ambientais e fisiológicos, além de características intrínsecas do genótipo. Condições ambientais como temperatura baixa, alto quociente fototermal e maior duração de períodos críticos para a formação do potencial de rendimento do trigo foram associadas a um aumento do teor de proteína nos grãos, quando o N foi aplicado mais próximo do espigamento e enchimento do grão.

A correlação positiva significativa entre rendimento de grãos e teor de proteína nos grãos ocorreu em nove situações (cultivares, locais e anos de semeadura), conforme pode ser visto na Tabela 5. Dessas nove, destacou-se BRS Guaraim com cinco correlações significativas, seguida de BRS Guamirim e BRS Marcante, com duas. Correlação negativa significativa só foi observada em BRS Guamirim, em Londrina (2016).

Segundo Gate (1995), o aumento simultâneo do teor de proteína nos grãos e do rendimento de

Tabela 5. Correlação linear de Pearson entre o rendimento de grãos e o teor de proteína nos grãos de cultivares de trigo em diferentes ambientes (locais e anos).

Local	Ano	BRS Guamirim	BRS Guaraim	BRS Marcante
		Coeficiente de correlação - <i>r</i>		
Londrina, PR	2016	-0,54*	0,81*	-0,30 ^{ns}
	2017	0,17 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Guarapuava, PR	2017	0,07 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,45 ^{ns}
	2018	0,31 ^{ns}	0,64*	0,20 ^{ns}
Coxilha, RS	2017	0,30 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Passo Fundo, RS	2018	0,50*	0,46 ^{ns}	0,61*
Ponta Grossa, PR	2016	0,30 ^{ns}	0,56*	0,24 ^{ns}
	2017	-0,15 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
Três de Maio, RS	2016	0,47*	0,72*	0,75*
	2018	-0,04 ^{ns}	0,73*	-0,46 ^{ns}
Muitos Capões, RS	2016	-0,26 ^{ns}	0,24 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
Vacaria, RS	2017	-0,17 ^{ns}	-0,40 ^{ns}	0,03 ^{ns}

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. ^{ns} Não significativo.

grãos pode ser alcançado pelo manejo adequado do N (dose e época) e pela melhoria da eficiência de translocação do N para os grãos na fase de enchimento. Mi et al. (2000) e Masoni et al. (2007) reforçaram que a resposta da planta ao N aplicado e o padrão de alocação desse elemento nos grãos depende, em parte, das características do genótipo de trigo, que diferem quanto à taxa de absorção de N e à alocação deste nutriente no grão, durante os períodos de crescimento e desenvolvimento da planta.

O presente trabalho não permitiu identificar a(s) causa(s) da limitada resposta à aplicação tardia de N, mesmo de forma fracionada, bem como da correlação negativa ou positiva entre o teor de proteína nos grãos e o rendimento de grãos, pois, sendo multifatoriais, seriam necessárias outras abordagens experimentais para melhor compreensão dos fatores envolvidos.

Força de glúten (W)

Os resultados para a força de glúten (W) são apresentados na Tabela 6. A cultivar BRS Marcante apresentou maior W, com exceção de Muitos Capões (2016), nas EMN 1 e 6 e de Três de Maio (2016), nas EMN 1, 2, 4 e 5 que não diferiu de BRS Guamirim. Ainda em Três de Maio (2016), as três cultivares não diferiram entre si na EMN 6. Considerando o efeito simples dos genótipos, na média dos resultados, a força de glúten de BRS Marcante e de BRS Guamirim não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em Ponta Grossa (2016) e Vacaria (2017). Valores intermediários de força de glúten foram obtidos em BRS Guamirim e, baixos valores desta característica de qualidade tecnológica, em BRS Guaraim. Esses resultados reforçam a escolha acertada das cultivares para representar classes comerciais de trigo distintas, estabelecidas pela IN nº 38/2010 (Brasil, 2010): BRS Marcante (Trigo Pão, com $W \geq 220$ e $< 300 \times 10^{-4}$ J); BRS Guamirim (Trigo Doméstico, com $W \geq 160$ e < 220); e BRS Guaraim (que varia entre Trigo Básico, com $W \geq 100$ e < 160 , e Outros usos, $W < 100 \times 10^{-4}$ J).

Cabe ressaltar que, de acordo com Reunião [...] (2023), “a classificação comercial estima a aptidão tecnológica de cultivares de trigo nas diferentes regiões homogêneas de adaptação. No entanto, não garante, absolutamente, a mesma classificação para um lote comercial, cujo desempenho pode depender das condições meteorológicas, solo, tratamentos culturais, secagem e armazenamento”. Essa afirmação é comprovada nos dados apresentados na Tabela 6, em que, em muitos casos, observou-se classificação diferenciada das cultivares para um tratamento ou ambiente, conforme apresentado na sequência.

Considerando o percentual de enquadramento nas classes comerciais das 216 combinações (três cultivares, seis tratamentos e 12 ambientes avaliados), a BRS Guamirim, em 8,3% dos tratamentos, foi classificada como Trigo Pão e Outros usos e, em 41,7%, Trigo Doméstico e Trigo Básico; BRS Guaraim, em 45,8% como Trigo Básico e 54,2% como Outros usos e, BRS Marcante, em 26,4% como Trigo Melhorador; 36,1% como Trigo Pão; 30,6% como Trigo Doméstico e 6,9% como Trigo Básico.

Dos 12 ambientes avaliados em sete ambientes não foram observadas diferenças entre as EMN, em três, a interação entre os genótipos e as estratégias de manejo de N foi significativa para a força de glúten (Muitos Capões e Três de Maio, 2016 e Londrina, 2017) e em dois verificaram-se efeito simples de estratégias de manejo de N (Guarapuava, 2017 e Passo Fundo, 2018).

No desdobramento dos efeitos dos tratamentos EMN e genótipos em que a interação foi significativa, verificou-se que as cultivares de trigo apresentaram respostas diferenciadas na força de glúten. Para a BRS Guamirim não foi observado efeito das EMN, nos três ambientes citados. Para BRS Guaraim, apenas em Muitos Capões (2016) houve resposta das estratégias de manejo de N, e considerando os valores extremos, o menor valor obtido na EMN 5 (58×10^{-4} J) e o maior, na EMN 1 (91×10^{-4} J), sem diferirem de outros tratamentos, com ou sem aporte de N. No entanto, o acréscimo no valor de W, como resultado do emprego da EMN 1, não resultou na mudança de enquadramento da classe comercial de trigo e, em todos os tratamentos, o W foi enquadrado como Trigo Outros usos.

Para a BRS Marcante em cada um dos três ambientes a resposta foi diferenciada e, considerando os valores extremos, em Muitos Capões (2016) as EMN 4 e 5 apresentaram os maiores valores de W, com, respectivamente, 220 e 239×10^{-4} J, enquadrando-se na classe comercial Trigo Pão, e nas EMN 1 e 6 (menores valores), a força de glúten foi enquadrada na classificação comercial de Trigo Doméstico. Ainda considerando os valores extremos, em Três de Maio (2016) a EMN 6 (N zero) apresentou a menor força de glúten (146×10^{-4} J – classificação comercial Trigo Básico) e o maior valor foi obtido na EMN 3 (213×10^{-4} J – classificação comercial Trigo Doméstico). Em Londrina (2017), a EMN 6 (N zero) apresentou a menor força de glúten, comparativamente às demais EMN, que não diferiram entre si. Nesse ambiente, foram observadas alterações na classificação comercial, passando de Trigo Doméstico (EMN 6) para Trigo Pão (EMN 1, 2, 3, e 5) e para Trigo Melhorador (EMN 4). Cabe

Tabela 6. Força de glúten - W (em 10^{-4} J) das cultivares de trigo BRS Guamirim, BRS Guaraim e BRS Marcante em diferentes ambientes (locais e anos) em função de estratégias de manejo de nitrogênio.

Cultivar	Estratégia de manejo de nitrogênio ⁽¹⁾ /força de glúten						Média
	EMN 1	EMN 2	EMN 3	EMN 4	EMN 5	EMN 6	
Guarapuava, 2017							
BRS Guamirim	145	157	180	179	164	151	163 b
BRS Guaraim	51	61	71	65	69	45	60 c
BRS Marcante	321	283	316	314	304	285	304 a
Média	172 AB	167 AB	189 A	186 A	179 AB	160 B	CV ⁽²⁾ : 16,3
Guarapuava, 2018							
BRS Guamirim	153	142	144	147	164	147	149 b
BRS Guaraim	89	86	89	97	98	96	92 c
BRS Marcante	223	241	259	250	250	233	242 a
Média	155 ^{ns}	156	164	164	171	159	CV: 11,3
Coxilha, 2017							
BRS Guamirim	137	182	185	171	195	161	172 b
BRS Guaraim	63	66	73	73	85	61	70 c
BRS Marcante	289	334	313	280	297	271	297 a
Média	163 ^{ns}	194	190	175	192	164	CV: 15,9
Passo Fundo, 2018							
BRS Guamirim	119	111	117	128	113	118	118 b
BRS Guaraim	58	65	74	56	61	64	63 c
BRS Marcante	196	213	233	218	230	203	216 a
Média	124 B	130 AB	141 A	134 AB	134 AB	128 AB	CV: 12,7
Ponta Grossa, 2016							
BRS Guamirim	216	201	204	224	216	196	210 a
BRS Guaraim	125	115	146	103	114	109	118 b
BRS Marcante	190	237	215	189	215	134	197 a
Média	177 ^{ns}	184	188	172	182	147	CV: 18,5
Ponta Grossa, 2017							
BRS Guamirim	226	207	224	233	221	220	222 b
BRS Guaraim	136	148	146	155	146	137	145 c
BRS Marcante	318	268	311	212	238	242	265 a
Média	227 ^{ns}	208	227	200	202	200	CV: 15,9
Muitos Capões, 2016							
BRS Guamirim	149 A a	126 A b	134 A b	139 A b	126 A b	131 A a	134
BRS Guaraim	91 A b	66 AB c	66 AB c	74 AB c	58 B c	62 AB b	69
BRS Marcante	181 C a	214 AB a	184 BC a	220 A a	239 A a	173 C a	202
Média	140	135	128	144	141	122	CV: 15,2
Vacaria, 2017							
BRS Guamirim	141	106	117	132	121	148	128 ab
BRS Guaraim	68	70	91	93	103	91	86 b
BRS Marcante	116	162	141	175	144	180	153 a
Média	108 ^{ns}	113	116	134	123	140	CV: 28,4

Continua...

Tabela 6. Continuação.

Cultivar	Estratégia de manejo de nitrogênio ⁽¹⁾ /força de glúten						Média
	EMN 1	EMN 2	EMN 3	EMN 4	EMN 5	EMN 6	
Três de Maio, 2016							
BRS Guamirim	202 A a	157 A ab	139 A b	184 A a	197 A a	153 A a	172
BRS Guaraim	111 A b	116 A b	132 A b	128 A b	127 A b	109 A a	120
BRS Marcante	185 AB a	177 AB a	213 A a	198 AB a	176 AB a	146 B a	183
Média	166	150	161	170	167	136	CV: 17,7
Três de Maio, 2018							
BRS Guamirim	211	189	195	207	219	217	206 b
BRS Guaraim	114	117	116	109	116	134	118 c
BRS Marcante	301	302	316	315	331	251	303 a
Média	209 ^{ns}	203	209	210	222	201	CV: 11,7
Londrina, 2016							
BRS Guamirim	207	205	206	211	208	216	209 b
BRS Guaraim	102	104	101	106	100	107	103 c
BRS Marcante	282	258	307	260	334	261	284 a
Média	197 ^{ns}	189	205	192	214	195	CV: 13,5
Londrina, 2017							
BRS Guamirim	77 A b	78 A b	71 A b	77 A b	79 A b	72 A b	76
BRS Guaraim	91 A b	81 A b	76 A b	82 A b	73 A b	86 A b	82
BRS Marcante	288 A a	284 A a	279 A a	314 A a	265 A a	181 B a	268
Média	152	148	142	158	139	113	CV: 16,0
Média geral = 167 x 10 ⁻⁴ J.							

⁽¹⁾ EMN 1 (1/3 N na fase vegetativa + 2/3 N no perfilhamento); EMN 2 (1/3 N na fase vegetativa + 2/3 N no alongamento do colmo); EMN 3 (1/3 N na fase vegetativa + 1/3 N no perfilhamento + 1/3 N no alongamento do colmo); EMN 4 (1/3 N na fase vegetativa + 1/3 N no perfilhamento + 1/3 N no espigamento); EMN 5 (1/3 N na fase vegetativa + 1/3 N no alongamento do colmo + 1/3 N no espigamento); e EMN 6 (sem adubação com N).

⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, e pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

⁽³⁾ Coeficiente de variação do ensaio, em %.

^{ns} Não significativo.

observar que os tratamentos com aporte de N, mesmo que utilizando a mesma dose de N, demandam mais que uma entrada na lavoura. Assim, a escolha por um determinado tratamento, visando a mudança de classe deveria vir acompanhada de valorização suficiente para justificar o aumento no custo.

Com relação ao efeito simples dos tratamentos EMNs, dois ambientes foram estatisticamente significativos para esta fonte de variação, Guarapuava (2017) e Passo Fundo (2018). Considerando os valores extremos, Guarapuava (2017) destacou-se por apresentar a EMN 6, com o menor valor (160×10^{-4} J) e as EMN 3 e 4 com os maiores valores de W (189 e 186×10^{-4} J, respectivamente). Em Passo Fundo (2018) o maior valor de força de glúten foi obtido na EMN 3 (141×10^{-4} J) e, o menor, na EMN 1 (128×10^{-4} J). Embora a EMN 3 tenha se destacado com o maior valor de força de glúten, os demais dados

estatísticos, mostram que essa EMN não difere de muitas outras EMN e, portanto, não é seguro indicar estratégia(s) de manejo de N, para os distintos ambientes, com a finalidade de fornecer acréscimo no valor desta característica de qualidade.

Os resultados estão em conformidade ao explicitado na Nota Técnica “Nitrogênio e qualidade tecnológica do trigo” (Guarienti et al., 2014), que ressaltou que “a base experimental que se dispõe atualmente não permite afirmar que o N aplicado em determinado estágio da cultura do trigo será fator indutor de maior força de glúten em qualquer cultivar. Isso ocorre porque, em tese, a planta não seleciona o N absorvido em determinada fase para formar mais glúten, pois esta porção é sintetizada durante o enchimento do grão. Se o solo apresentar deficiência de N, nesta fase, é possível que venha a ocorrer efeito na qualidade do grão. Pode, também,

haver diferença genética específica nesta característica. Sabe-se somente que, ao aumentar a dose de N, ocorrerá aumento gradativo do potencial de rendimento de grãos, mas não necessariamente da força de glúten. Com isso, não se pode afirmar que o N absorvido no alongamento, por exemplo, é menos importante que o N absorvido na antese para formar glúten”.

Com relação à aplicação tardia de N, não se observou resposta na força de glúten em nenhuma das situações avaliadas (genótipos, ambientes e sua interação), quando comparado com outra(s) estratégia(s) de manejo em que o N foi empregado em diferentes estádios fisiológicos do desenvolvimento do trigo.

Considerando que o glúten é formado por dois grupos majoritários de proteínas insolúveis, as gliadinas e as gluteninas (Hoseney, 1986), e a alveografia avalia a força de glúten (W), seria esperado que o parâmetro W de qualidade tecnológica apresentasse correlação elevada com os teores de proteína nos grãos e de glúten úmido. Resultados de correlação linear entre a força de glúten e o teor de proteína nos grãos (Tabela 7) mostraram correlação significativa positiva ($p \leq 0,05$) apenas para as cultivares BRS Guamirim em Coxilha (2017) e BRS Marcante em Passo Fundo (2018) e em Muitos Capões (2016). Já para a cultivar BRS Guaraim, observou-se correlação significativa negativa entre

as características de qualidade citadas, em Três de Maio (2018). Este resultado contraria a associação entre estas variáveis, explicada por Mandarino (1993), que relata a existência de correlação entre quantidade e qualidade das proteínas de trigo, e que, na mesma cultivar, as amostras com maior teor de proteico possuem, em geral, melhor qualidade do que aquelas com menor teor de proteína. Também, poucas correlações significativas foram obtidas entre força de glúten e teor de glúten úmido (Tabela 8), destacando-se BRS Guamirim, em Coxilha (2017) e BRS Marcante em Londrina (2017), Três de Maio (2018) e Muitos Capões (2016).

Teor de glúten úmido

Os resultados para o teor de glúten úmido estão na Tabela 9. Considerando 36 combinações (três cultivares e 12 ambientes avaliados), verificou-se que a EMN sem aporte de N alcançou 28,0% de teor de glúten úmido, conhecido como o mínimo sugerido pelas indústrias brasileiras para a produção de pães, em 58,3% dos casos.

Em BRS Marcante, todas as EMN apresentaram valores abaixo de 28,0% em Ponta Grossa, Muitos Capões e Três de Maio (2016) e Londrina (2017). Esta mesma situação foi observada em BRS Guaraim em Três de Maio (2016) e Londrina (2017).

Dos 12 ambientes avaliados, em cinco a interação entre os genótipos e as EMN foi significativa

Tabela 7. Correlação linear de Pearson entre a força de glúten e o teor de proteína nos grãos de cultivares de trigo em diferentes ambientes (locais e anos).

Local	Ano	BRS Guamirim	BRS Guaraim	BRS Marcante
		Coeficiente de correlação - r		
Londrina, PR	2016	0,06 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,08 ^{ns}
	2017	0,39 ^{ns}	0,30 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
Guarapuava, PR	2017	-0,02 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,16 ^{ns}
	2018	0,04 ^{ns}	0,10 ^{ns}	-0,05 ^{ns}
Coxilha, RS	2017	0,57*	0,40 ^{ns}	0,38 ^{ns}
Passo Fundo, RS	2018	-0,03 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,51*
Ponta Grossa, PR	2016	0,26 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,36 ^{ns}
	2017	0,02 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,22 ^{ns}
Três de Maio, RS	2016	0,19 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,33 ^{ns}
	2018	-0,08 ^{ns}	-0,61*	0,44 ^{ns}
Muitos Capões, RS	2016	-0,39 ^{ns}	-0,43 ^{ns}	0,78*
Vacaria, RS	2017	-0,38 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,22 ^{ns}

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. ^{ns} Não significativo.

Tabela 8. Correlação linear de Pearson entre a força de glúten e o teor de glúten úmido de cultivares de trigo em diferentes ambientes (locais e anos).

Local	Ano	BRS Guamirim	BRS Guaraim	BRS Marcante
		Coeficiente de correlação - r		
Londrina, PR	2016	0,25 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,33 ^{ns}
	2017	0,26 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	0,76*
Guarapuava, PR	2017	0,07 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,25 ^{ns}
	2018	0,09 ^{ns}	-0,00 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Coxilha, RS	2017	0,76*	0,19 ^{ns}	0,38 ^{ns}
Passo Fundo, RS	2018	0,14 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,36 ^{ns}
Ponta Grossa, PR	2016	0,23 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,38 ^{ns}
	2017	-0,21 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Três de Maio, RS	2016	0,10 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,34 ^{ns}
	2018	-0,04 ^{ns}	-0,42 ^{ns}	0,53*
Muitos Capões, RS	2016	-0,28 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	0,79*
Vacaria, RS	2017	-0,11 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,14 ^{ns}

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. ^{ns} Não significativo.**Tabela 9.** Teor de glúten úmido (em %) das cultivares de trigo BRS Guamirim, BRS Guaraim e BRS Marcante em diferentes ambientes (locais e anos) em função de estratégias de manejo de nitrogênio.

Cultivar	Estratégia de manejo de nitrogênio ⁽¹⁾ /teor de glúten úmido						
	EMN 1	EMN 2	EMN 3	EMN 4	EMN 5	EMN 6	Média ⁽²⁾
Guarapuava, 2017							
BRS Guamirim	39,06 A a	40,16 A a	38,74 A a	38,95 A a	40,34 A a	32,57 B a	38,30
BRS Guaraim	35,14 A a	34,09 A a	32,57 A a	32,60 A a	34,78 A a	34,17 A a	33,89
BRS Marcante	31,77 A a	33,99 A a	32,08 A a	32,70 A a	30,87 A a	30,58 A a	32,00
Média	35,32	36,08	34,46	34,75	35,33	32,44	CV⁽³⁾: 9,1
Guarapuava, 2018							
BRS Guamirim	39,57	39,15	39,09	41,15	38,78	34,32	38,68 a
BRS Guaraim	40,53	38,45	36,28	37,45	36,62	32,45	36,96 a
BRS Marcante	29,62	31,51	29,83	30,79	31,02	27,76	30,09 b
Média	36,57 A	36,37 A	35,07 AB	36,46 A	35,47 AB	31,51 B	CV: 8,6
Coxilha, 2017							
BRS Guamirim	35,29	39,92	38,61	38,37	43,15	34,87	38,37 a
BRS Guaraim	33,36	36,76	31,80	35,39	37,94	33,30	34,76 ab
BRS Marcante	30,72	35,40	34,06	33,55	36,85	27,01	32,93 b
Média	33,13 DE	37,36 AB	34,83 CD	35,77 BC	39,31 A	31,73 E	CV: 10,0
Passo Fundo, 2018							
BRS Guamirim	36,01	36,83	36,43	42,65	37,00	34,44	37,23 a
BRS Guaraim	30,26	31,26	33,51	29,97	30,41	28,12	30,59 b
BRS Marcante	27,88	28,79	28,24	27,61	28,02	24,21	27,46 b
Média	31,38 AB	32,29 A	32,73 A	33,41 A	31,81 AB	28,93 B	CV: 8,9

Continua...

Tabela 9. Continuação.

Cultivar	Estratégia de manejo de nitrogênio ⁽¹⁾ /teor de glúten úmido						
	EMN 1	EMN 2	EMN 3	EMN 4	EMN 5	EMN 6	Média ⁽²⁾
Ponta Grossa, 2016							
BRS Guamirim	32,90	33,07	32,40	36,44	35,55	30,26	33,44 a
BRS Guaraim	25,98	28,29	23,68	36,66	27,48	26,52	28,10 b
BRS Marcante	24,64	26,81	25,34	26,80	27,43	24,48	25,92 b
Média	27,84 B	29,39 AB	27,14 B	33,30 A	30,15 AB	27,09 B	CV: 13,1
Ponta Grossa, 2017							
BRS Guamirim	35,64 AB a	36,58 AB a	37,10 A a	36,53 AB a	36,83 A a	34,11 B a	36,13
BRS Guaraim	30,51 A ab	30,71 A ab	30,86 A ab	30,90 A ab	30,41 A b	27,40 B b	30,13
BRS Marcante	28,95 A b	29,46 A b	29,45 A b	28,18 A b	29,66 A b	23,20 B b	28,15
Média	31,70	32,25	32,47	31,87	32,30	28,24	CV: 6,9
Muitos Capões, 2016							
BRS Guamirim	32,87	37,22	37,00	40,14	40,74	37,62	37,60 a
BRS Guaraim	25,93	27,33	26,38	30,22	30,02	26,31	27,70 b
BRS Marcante	19,03	22,27	20,24	25,04	27,13	20,62	22,39 c
Média	25,94 C	28,94 B	27,87 BC	31,80 A	32,63 A	28,18 BC	CV: 11,5
Vacaria, 2017							
BRS Guamirim	40,45	44,27	45,36	48,66	47,93	41,76	44,74 a
BRS Guaraim	31,28	30,86	30,07	33,93	31,46	30,32	31,32 b
BRS Marcante	29,90	30,88	31,62	35,61	32,23	28,99	31,54 b
Média	33,87 B	35,33 AB	35,69 AB	39,40 A	37,20 AB	33,69 B	CV: 10,9
Três de Maio, 2016							
BRS Guamirim	29,65 CD a	36,48 A a	32,26 BC a	33,33 ABC a	35,56 AB a	28,01 D a	32,55
BRS Guaraim	26,17 A a	24,66 A b	23,66 A b	26,13 A b	26,48 A b	19,35 B b	24,41
BRS Marcante	24,89 A a	25,87 A b	26,35 A b	26,95 A b	26,79 A b	19,27 B b	25,02
Média	26,90	29,01	27,43	28,80	29,61	22,21	CV: 11,8
Três de Maio, 2018							
BRS Guamirim	33,99 A a	35,06 A a	34,66 A a	34,43 A a	34,55 A a	30,66 B a	33,89
BRS Guaraim	31,35 AB a	32,54 A ab	32,43 A a	32,38 A ab	32,68 A a	29,63 B a	31,83
BRS Marcante	30,59 A a	29,23 A b	31,01 A a	28,51 A b	31,05 A a	23,91 B b	29,05
Média	31,98	32,28	32,70	31,77	32,76	28,07	CV: 6,9
Londrina, 2016							
BRS Guamirim	42,26 AB a	44,28 AB a	42,86 AB a	40,11 AB a	45,50 A a	39,88 B a	42,48
BRS Guaraim	35,25 AB a	38,21 A a	37,54 A a	37,17 AB a	32,85 AB a	31,82 B a	35,47
BRS Marcante	34,27 AB a	34,65 AB a	35,28 A a	33,67 AB a	34,09 AB a	29,73 B a	33,61
Média	37,26	39,05	38,56	36,98	37,48	33,81	CV: 8,6
Londrina, 2017							
BRS Guamirim	26,43	29,91	24,26	29,28	29,49	20,77	26,69 a
BRS Guaraim	22,47	21,04	20,85	24,26	21,65	14,26	20,75 b
BRS Marcante	24,75	23,94	24,56	26,11	24,52	14,25	23,02 ab
Média	24,55 AB	24,96 AB	23,22 B	26,55 A	25,22 AB	16,43 C	CV: 18,0
Média geral = 31,87%.							

⁽¹⁾ EMN 1 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{2}{3}$ N no perfilhamento); EMN 2 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{2}{3}$ N no alongamento do colmo); EMN 3 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{1}{3}$ N no perfilhamento + $\frac{1}{3}$ N no alongamento do colmo); EMN 4 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{1}{3}$ N no perfilhamento + $\frac{1}{3}$ N no espigamento); EMN 5 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{1}{3}$ N no alongamento do colmo + $\frac{1}{3}$ N no espigamento); e EMN 6 (sem adubação com N). ⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, e pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ⁽³⁾ Coeficiente de variação do ensaio, em %.

para o teor de glúten úmido. Nestes ambientes BRS Guaraim e BRS Marcante apresentaram resposta similar na maior parte dos tratamentos. Excluindo-se duas situações em que a resposta aos tratamentos não foi significativa (BRS Guaraim e BRS Marcante em Guarapuava, 2017), verificou-se que a EMN 6 apresentou o menor teor de glúten úmido, embora, em alguns casos [BRS Guamirim em Ponta Grossa (2017), Três de Maio e Londrina, (2016); BRS Guaraim em Três de Maio (2018) e Londrina (2016)] não tenha diferido significativamente de outro(s) tratamento(s) com aporte de N.

Neste conjunto de dados e considerando os valores extremos superiores, comparativamente ao tratamento sem aporte de N (menor valor), o acréscimo percentual no teor de glúten úmido variou segundo a cultivar: BRS Guamirim, de 2,86 pp em Ponta Grossa (2017) a 8,47 pp em Três de Maio (2016); BRS Guaraim, de 2,88 pp em Três de Maio (2018) a 6,07 pp em Três de Maio (2016); e BRS Marcante, de 5,55 pp em Londrina (2016) a 6,90 pp em Três de Maio (2016).

Com relação ao efeito simples das EMN, nos sete ambientes em que a diferença nas médias foi significativa para os tratamentos, os incrementos percentuais entre as médias dos valores extremos de glúten úmido variaram de 3,88 pp em Passo Fundo (2018) a 10,12 pp em Londrina (2017).

A EMN 4 destacou-se por apresentar, em comum, o maior valor de glúten úmido em seis ambientes, sendo a exceção Coxilha, 2017 (EMN 5). No entanto, outros tratamentos também se distinguiram com os maiores valores: EMN 1 e 2 (Guarapuava, 2018); EMN 2 e 3 (Passo Fundo, 2018) e EMN 5 (Muitos Capões, 2016).

Mesmo que a EMN 4 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{1}{3}$ N no perfilhamento + $\frac{1}{3}$ N no espigamento) tenha sido o tratamento comum a seis ambientes, com maiores valores de teor de glúten úmido, outros dados estatísticos (incluindo os obtidos nas interações), mostram que ainda não é seguro indicar estratégia(s) de manejo de N para os distintos ambientes, com a finalidade de fornecer acréscimo de valor nesta característica de qualidade tecnológica, incluindo-se, neste caso, a aplicação tardia de N. No entanto, os resultados obtidos na estratégia sem aporte de N, mostraram, claramente, a redução do teor de glúten. Estes resultados estão em conformidade ao explicitado na Nota Técnica “Nitrogênio e qualidade tecnológica do trigo” (Guarienti et al., 2014), descrita no item “Força de glúten”, que explicita que a deficiência de N pode acarretar efeitos (negativos) na qualidade do grão.

De acordo com Belitz e Grosch (1988), as proteínas que compõem o glúten (proteínas de reserva, constituídas pelas gliadinas, gluteninas e resíduos proteicos) representam cerca de 78% da constituição do teor de proteína nos grãos, sendo o restante da composição, cerca de 22%, formado pelas albuminas e globulinas (proteínas que possuem funções metabólicas e estruturais). Considerando que as proteínas dos grãos são compostas, majoritariamente, pelas proteínas formadoras do glúten, é esperada correlação positiva entre estas duas variáveis em todas as situações. No entanto, os dados apresentados na Tabela 10 mostram que, para as cultivares BRS Guaraim e BRS Marcante, em 75% dos ambientes o coeficiente de correlação foi positivo e significativo ($p \leq 0,05$); porém, para BRS Guamirim, o percentual foi reduzido para em torno de 70%.

Tabela 10. Correlação linear de Pearson entre teores de glúten úmido e de proteína dos grãos de cultivares de trigo em diferentes ambientes (locais e anos de condução dos ensaios).

Local	Ano	BRS Guamirim	BRS Guaraim	BRS Marcante
		Coeficiente de correlação - r		
Londrina, PR	2016	0,18 ^{ns}	0,50*	0,85*
	2017	0,33 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,12 ^{ns}
Guarapuava, PR	2017	0,85*	0,51*	0,30 ^{ns}
	2018	0,86*	0,54*	0,03 ^{ns}
Coxilha, RS	2017	0,37 ^{ns}	0,75*	0,96*
Passo Fundo, RS	2018	0,14 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,79*
Ponta Grossa, PR	2016	0,76*	0,53*	0,70*
	2017	0,57*	0,30 ^{ns}	0,74*
Três de Maio, RS	2016	0,91*	0,73*	0,92*
	2018	0,86*	0,59*	0,72*
Muitos Capões, RS	2016	0,74*	0,47*	0,96*
Vacaria, RS	2017	0,68*	0,54*	0,72*

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. ^{ns} Não significativo.

Nos ambientes em que não foram observadas correlações significativas entre os teores de proteínas nos grãos e de glúten úmido, supõe-se que ocorreu, em maior quantidade, a formação das proteínas não formadoras de glúten.

Com relação à aplicação tardia de N que, em tese, poderia incrementar o teor de proteína nos grãos, com reflexos positivos no teor de glúten úmido, observou-se que, em poucos ambientes estudados, variando ou não de acordo com a cultivar avaliada, os tratamentos com aplicação de N tardio (EMN 4 e 5) superaram outra(s) EMN, no incremento do teor de glúten úmido, como em Muitos Capões (2016). Não obstante, há que se deixar claro, que não houve acréscimo na dose de N, quando da aplicação tardia, mas apenas o fracionamento em momentos distintos de aplicação, sempre da mesma dose de N.

Conclusões

1. Algumas combinações nas estratégias de aporte de N apresentaram maiores valores para as respostas teor de proteína nos grãos, de glúten úmido e de força de glúten e os menores valores para as variáveis foram observados na testemunha sem aporte de N, seguida da estratégia de fracionamento $\frac{1}{3}$ do N na fase vegetativa + $\frac{2}{3}$ do N no perfilhamento (EMN 1).
2. As diferenças observadas entre os tratamentos relacionadas com as estratégias de manejo de N são insuficientes para indicar as estratégias de fracionamento de N realizadas, quando se considera a mesma dose de N, com vistas ao aumento dos teores de proteínas nos grãos e de glúten úmido e da força de glúten.
3. A estratégia que contempla a aplicação de parte da dose tardiamente, não foi efetiva para incrementar teor de proteína nos grãos, força de glúten e teor de glúten úmido, na maioria das situações avaliadas (genótipos e ambientes), quando comparada às demais estratégias de manejo em que o N foi empregado no período indicado para fracionamento (fase vegetativa, perfilhamento e alongamento do colmo).
4. Não obstante as cultivares de trigo serem provenientes de mesmo cruzamento (genótipos irmãos), como BRS Guamirim e BRS Guaraim, a caracterização fenotípica pode ser diferenciada, conforme observado no teor de proteína dos grãos, na força de glúten e no teor de glúten úmido. A grande variabilidade nas respostas das três cultivares, em função dos diferentes ambien-

tes avaliados, também indica a necessidade de aprofundamento de estudos relacionados com a interação genótipo e fatores edafoclimáticos.

Referências

- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: safra 2023/24: 8º levantamento, v.11, n. 8, p. 121, Maio. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 16 jul. 2024.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of analysis**. 11th ed. Saint Paul: Cereals & Grains Association, 2010. Disponível em: <http://methods.aaccnet.org/toc.aspx>. Acesso em: 6 jun. 2022.
- BARNEIX, A. J. Physiology and biochemistry of source-regulated protein accumulation in the wheat grain. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, n. 5, p. 581-590, 2007.
- BELITZ, H. -D.; GROSCH, W. Cereales y productos derivados. In: BELITZ, H. -D.; GROSCH, W. **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1988. p. 537-584.
- BLANDINO, M.; VISIOLI, G.; MARANDO, S.; MARTI, A.; REYNERI, A. Impact of late-season N fertilisation strategies on the gluten content and composition of high protein wheat grown under humid Mediterranean conditions. **Journal of Cereal Science**, v. 94, July 2020. Article 102995. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102995>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras de análises de sementes**. Brasília, DF, 2009. 399 p. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf. Acesso em: 6 jun. 2022.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. Estabelece o regulamento técnico do trigo. **Diário Oficial da União**, 1º dez. 2010. Seção 1, p. 2-4.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 8, de 2 de junho de 2005. Aprova o regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo. **Diário Oficial da União**, 3 jun. 2005. Seção 1, p. 91.
- CORASSA, G. M.; HANSEL, F. D.; LOLLATO, R.; PIRES, J. L. F.; SCHWALBERT, R.; AMADO, T. J. C.; GUARIENTI, E. M.; GAVIRAGHI, R.; BISOGNIN, M. B.; REIMCHE, G. B.; SANTI, A. L.; CIAMPITTI, I. A. Nitrogen management strategies to improve yield and

dough properties in hard red spring wheat. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 6, p. 2417-2429, Nov./Dec. 2018.

CUNHA, G. R. da; PASINATO, A.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, G. A.; SANTI, A.; GOUVEA, J. A. de. Bioclimatologia e zoneamento agrícola. In: DE MORI, C.; ANTUNES, J. M.; FAE, G. S.; ACOSTA, A. da S. (ed.). **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 31-57.

DE PAUW, R. M.; TOWNLEY-SMITH, T. F. Patterns of response for genotype grain yield and protein content in seven environments. In: INTERNATIONAL WHEAT GENETICS SYMPOSIUM, 7., 1988, Cambridge. **Proceedings** [...]. Cambridge: Institute of Plant Science Research, 1988. v. 2, p. 993-961.

ESTADOS UNIDOS. Climate Prediction Center. **Cold & warm episodes by season**. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 22 abr. 2024.

FERREIRA, L. A. R.; SILVA, S. R.; LOLLATO, R. P.; FERREIRA, E. B.; KÖLLN, O. T. Wheat nitrogen utilization efficiency and yield as affected by nitrogen management and environmental conditions. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 33, n. 11, p. 944-957, Nov. 2021.

FUERTES-MENDIZÁBAL, T.; AIZPURUA, A.; GONZÁLEZ-MORO, M. B.; ESTAVILLO, J. M. Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 52-61, July 2010.

GATE, P. **Ecophysiologie du blé: de la plante à la culture**. Paris: Technique et Documentation-Lavoisier, 1995. 429 p.

GIORDANO, N.; SADRAS, V. O.; LOLLATO, R. O. Late-season nitrogen application increases grain protein concentration and is neutral for yield in wheat. A global meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 290, Jan. 2023. Article 108740. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108740>.

GUARIENTI, E. M.; DE BONA, F. D.; PIRES, J. L. F.; NICOLAU, M.; STRIEDER, M. L.; SCHEEREN, P. L.; WIETHÖLTER, S. Nitrogênio e qualidade tecnológica do trigo. **Portal Embrapa: notícias**, 21 maio 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/1727107/artigo---nitrogenio-e-qualidade-tecnologica-do-trigo>. Acesso em: 17 jan. 2023.

GUARIENTI, E. M.; MIRANDA, M. Z. de; CUNHA, G. R. da; NICOLAU, M.; TIBOLA, C. S.; TEIXEIRA, D. D. **Qualidade tecnológica de trigo colhido e armazenado no Brasil - safras 2015, 2016 e 2017**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2019. 93 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 184). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/205737/1/ID44786-2019DO184.pdf>. Acesso em: 3 jun. 2022.

HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology**. St. Paul: American Association of Cereal Science. 1986. 327 p.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Levantamento sistemático da produção agrícola: tabela 7878 - série histórica da estimativa anual da área plantada, área colhida, produção e rendimento médio dos produtos das lavouras (prognóstico da safra)**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/7878>. Acesso em: 15 maio 2024.

INMET. **Geadas observadas**. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/paginas/geadas>. Acesso em: 17 fev. 2023.

INMET. **Normais climatológicas do Brasil**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 6 jun. 2023.

JOHANSSON, E.; PRIETO-LINDE, M. L.; SVENSSON, G. Influence of nitrogen application rate and timing on grain protein composition and gluten strength in Swedish wheat cultivars. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 167, n. 3, p. 345-350, June 2004.

MANDARINO, J. M. G. **Aspectos importantes para a qualidade do trigo**. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1993. 32 p. (Embrapa-CNPSO. Documentos, 60).

MARINHO, J. L.; SILVA, S. R.; FONSECA, I. C. B.; MIRANDA, M. Z.; GUARIENTI, E. M.; ZUCARELI, C. Technological quality of wheat grains and flour as affected by nitrogen fertilization and weather conditions. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 34, n. 12, p. 997-1011, Dec. 2022a.

MARINHO, J. L.; SILVA, S. R.; FONSECA, I. C. B.; ZUCARELI, C. Nitrogen use efficiency and yield of wheat genotypes affected by nitrogen fertilizing and environmental conditions in southern Brazil. **International Journal of Plant Production**, v. 16, n. 3, p. 495-510, Sept. 2022b.

MASONI, A.; ERCOLI, L.; MARIOTTI, M.; ARDUINI, I. Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type. **European Journal of Agronomy**, v. 26, n. 3, p. 179-186, Apr. 2007.

MI, G.; TANG, L.; ZHANG, F.; ZHANG, J. Is nitrogen uptake after anthesis in wheat regulated by sink size? **Field Crops Research**, v. 68, n. 3, p. 183-190, Nov. 2000.

MIRANDA, M. Z.; GUARIENTI, E. M.; TONON, V. D. Qualidade tecnológica de trigo. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 371-389.

NAKANO, H.; MORITA, S.; KUSUDA, O. Effect of nitrogen application rate and timing on grain yield and protein

content of the bread wheat cultivar 'Minaminokaori' in southwestern Japan. **Plant Production Science**, v. 11, n. 1, p. 151-157, 2008.

ORLOFF, S.; WRIGHT, S.; OTTMAN, M. Nitrogen management impacts on wheat yield and protein. In: CALIFORNIA ALFALFA AND GRAINS SYMPOSIUM, 42., Sacramento. **Proceedings** [...]. Davis: University of California, 2012. Disponível em: <https://alfalfasyposium.ucdavis.edu/+symposium/2012f/index.aspx>. Acesso em: 19 jun. 2023.

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Dados meteorológicos históricos e atuais**. Curitiba: IDR: Iapar: Emater, 2022. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Dados-Meteorologicos-Historicos-e-Atuais>. Acesso em: 7 jun. 2022.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 7.1 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil**. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 26 mai. 2023.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 02 maio 2023.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 9., 2015, Passo Fundo. **Informações técnicas para trigo e triticales - safra 2016**. Passo Fundo: Biotrigo Genética, 2016. 228 p.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 15., 2022, Brasília, DF. **Informações técnicas para trigo e triticales: safra 2023**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 143 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book.

SILVA, R. R.; ZUCARELI, C.; FONSECA, I. C. de B.; RIEDE, C. R.; GAZOLA, D. Nitrogen management, cultivars and growing environments on wheat grain quality. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 11, p. 826-832, nov. 2019.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul. - [s.i.]: Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016. 376 p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Núcleo Estadual Paraná. **Manual de calagem e adubação para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482 p.

SOUZA, D. N. S.; SILVA, S. R.; MARINHO, J. L.; BAZZO, J. H. B.; FONSECA, I. C. B.; ZUCARELI, C. Wheat yield and seed physiological quality as influenced by seed vigor, nitrogen fertilization and edaphoclimatic conditions. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, p. 3581-3602, 2021.

SOUZA, T. M.; PRANDO, A. M.; MIRANDA, M. Z. de; HIROOKA, E. Y.; ZUCARELI, C. Kernel chemical composition and flour quality of wheat in response to nitrogen sources and doses. **Revista Agrarian**, v. 12, n. 46, p. 528-541, 2019.

STATSOFT. **Statistica: data analysis software system**. Version 7. Disponível em: www.statsoft.com. Acesso em: 25 fev. 2023.

TRIBOI, E.; TRIBOI-BLONDEL, A. M. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem. **European Journal of Agronomy**, v. 16, n. 3, p. 163-186, Apr. 2002.

WILLIAMS, P.; EL-HARAMEIN, F. J.; NAKKOUL, H.; RIHAWI, S. **Crop quality evaluating methods and guidelines**. 2. ed. Aleppo: Icarda, 1988. 145 p.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. (ed.). **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 336 p.

XUE, C.; MATROS, A.; MOCK, H. -P.; MÜHLING, K. -H. Protein composition and baking quality of wheat flour as affected by split nitrogen application. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, May 2019. Article 642. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00642>.