

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

RENDIMENTO DE GRÃOS E QUALIDADE TECNOLÓGICA DE TRIGO
COM APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NO EMBORRACHAMENTO OU
FLORESCIMENTO

Danielle Almeida
Engenheira Agrônoma/UFRGS

Dissertação apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia
Ênfase Fisiologia e Manejo Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Junho de 2012

CIP - Catalogação na Publicação

Almeida, Danielle

Rendimento de grãos e qualidade tecnológica de trigo com aplicação de nitrogênio no emborrachamento ou florescimento / Danielle Almeida. -- 2012. 121 f.

Orientador: Christian Bredemeier.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2012.

1. Trigo. 2. Qualidade tecnológica de grãos. 3. Adubação nitrogenada. 4. Época de aplicação. 5. Rendimento de grãos. I. Bredemeier, Christian, orient. II. Título.

DANIELLE ALMEIDA
Engenheira Agrônoma - UFRGS

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM FITOTECNIA

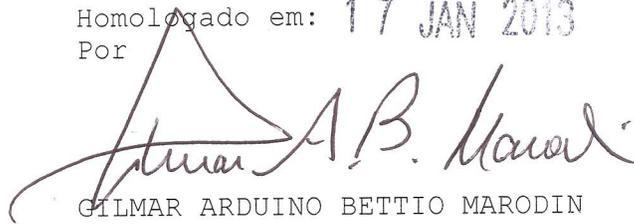
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 29.06.2012
Pela Banca Examinadora

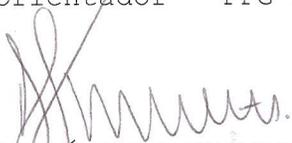
Homologado em: 17 JAN 2013
Por



CHRISTIAN BREDEMEIER
Orientador - PPG Fitotecnia



GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia



ANDRÉ LUIS THOMAS
PPG Fitotecnia



PAULO REGIS FERREIRA DA SILVA
PPG Fitotecnia



JOÃO LEONARDO FERNANDES PIRES
EMBRAPA Trigo
Passo Fundo/RS



PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade de
Agronomia

*“Nunca deixe que lhe digam que não vale a
pena acreditar no sonho que se tem
ou que seus planos nunca vão dar certo
ou que você nunca vai ser alguém...
Quem acredita sempre alcança!”*

Renato Russo

Aos meus pais, Jaime e Suzana, pelo
amor, carinho, apoio e incentivo
na realização dessa etapa.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, pelas oportunidades e por me conduzir nas melhores escolhas.

Ao Prof. Christian Bredemeier, exemplo de profissional, pela orientação, amizade, paciência e pelos inúmeros ensinamentos durante os dois anos de orientação.

Aos meus pais, Jaime e Suzana, por terem me proporcionado a oportunidade de concluir mais esta etapa em minha vida e terem sempre me apoiado com muito amor e carinho. Esta conquista é mais um fruto da incansável luta de vocês, que nunca mediram esforços para me proporcionar o melhor. Vocês são os exemplos de luta, dignidade e bondade de minha vida.

Aos meus irmãos, Rossana e Tiago, pelo apoio, incentivo e compreensão.

Ao Júnior, pelo carinho, apoio, paciência, compreensão e pelo incentivo em todos os momentos.

À toda minha família (vó, tios, tias, primos e primas) pelo apoio e incentivo, pois sempre foram grandes motivadores nesta caminhada. Em especial ao meu afilhado Fernando e ao meu primo João Vitor, que transformaram dias difíceis em dias agradáveis.

Ao Moinho Estrela e aos Srs. José Guimarães Martins e Luiz Paulo Bertamani Junior, pela parceria e pela realização das análises reológicas deste trabalho.

Aos professores André Luis Thomas e Paulo Regis Ferreira da Silva e ao Dr. João Leonardo Fernandes Pires, pela participação na banca examinadora deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Plantas de Lavoura, pelos tantos ensinamentos, pela minha formação e por me auxiliarem em todos os momentos que tive dúvidas, facilitando meu trabalho.

Aos amigos e colegas de trabalho, Clever Variani, Alexandre T. Rosa, Júlia Perin e Jacqueline F. Schmitz, pelo ótimo convívio e agradáveis dias de trabalho e pela contribuição neste trabalho. Ao Clever, agradeço também a paciência e os ensinamentos a campo.

Aos amigos e colegas de pós graduação, em especial a Juliano, Felipe (Costela), Taiguer, Silmara, Catarine e Guilherme, pelo companheirismo, amizade e paciência.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a concretização desta etapa e para minha formação profissional.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

RENDIMENTO DE GRÃOS E QUALIDADE TECNOLÓGICA DE TRIGO COM APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NO EMBORRACHAMENTO OU FLORESCIMENTO¹

Autor: Danielle Almeida

Orientador: Christian Bredemeier

RESUMO

A adubação nitrogenada é de fundamental importância em trigo, pois exerce grande influência sobre o rendimento de grãos e a qualidade industrial dos grãos produzidos. A aplicação de nitrogênio (N) pode modificar o conteúdo e a composição das proteínas no grão, as quais determinam a destinação do trigo como matéria prima final. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da adubação nitrogenada tardia nos estádios de emborrachamento ou florescimento da cultura sobre o rendimento de grãos de trigo e sua qualidade industrial, bem como estudar a relação entre avaliações do dossel e parâmetros de qualidade industrial. Os experimentos foram realizados a campo em 2010 e 2011 na EEA/UFRGS (Eldorado do Sul, RS). Os tratamentos constaram de duas cultivares de trigo classificadas como “pão” (Quartzo e Mirante) e da aplicação ou não de 40 kg N ha⁻¹ no estágio de emborrachamento ou florescimento. Foram avaliados rendimento de grãos e seus componentes, peso do hectolitro, teor de glúten úmido e seco, número de queda, teor de proteína no grão, força de glúten (W), tenacidade (P), extensibilidade (L) e relação P/L. O rendimento de grãos foi significativamente incrementado apenas em 2011 com a aplicação de N no emborrachamento. Entre os componentes do rendimento, o peso de 1000 grãos apresentou resposta para a aplicação tardia de N (emborrachamento ou florescimento) nos dois anos. Os valores de peso do hectolitro, teor de glúten úmido e seco, teor de proteína no grão e força de glúten (W), nas duas cultivares e nos dois anos de estudo, foram aumentados pela aplicação tardia de N, enquanto que a relação P/L foi reduzida, em função do aumento na extensibilidade da massa (Valor L). O número de queda foi afetado pela aplicação tardia de N apenas na cultivar Quartzo. A força de glúten (W) e o teor de proteína no grão se correlacionam significativamente, sendo a relação específica para cada cultivar e ano de estudo. O parcelamento da mesma dose de N em número maior de aplicações se mostrou eficiente como ferramenta para o aumento da qualidade de grãos. A aplicação de N em estádios tardios de desenvolvimento da cultura foi eficiente para melhoria da qualidade dos grãos de trigo destinados à panificação das cultivares Quartzo e Mirante, nos anos de 2010 e 2011.

¹ Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (108p.) Junho, 2012.

GRAIN YIELD AND TECHNOLOGICAL QUALITY OF WHEAT WITH NITROGEN APPLICATION AT BOOTING OR FLOWERING

Author: Danielle Almeida
Adviser: Christian Bredemeier

ABSTRACT

Nitrogen (N) fertilization in wheat can greatly affect grain yield and bread-making quality. N management modifies protein content and composition in wheat grain, determining different uses of grains. The objective of this work was to evaluate the influence of late nitrogen fertilization at booting or flowering on wheat grain yield and quality as well as to verify the relationship between canopy characteristics and grain quality parameters. Field experiments were carried out at EEA/UFRGS (Eldorado do Sul, RS) in 2010 and 2011. Treatments consisted of two bread-making cultivars (Quartzo and Mirante) and application of two N rates at booting or flowering (no N or 40 kg N ha⁻¹). Grain yield and yield components, hectoliter weight, wet and dry gluten content, falling number, grain protein content, gluten strength (W), tenacity (P), extensibility (L) and relation P/L were determined. Grain yield was significantly affected by N fertilization only in 2011 when N was applied at booting. 1000-grain weight increased with late N application (at booting or flowering) in both years. Hectoliter weight, wet and dry gluten as well as protein content and gluten strength (W) increased with application of nitrogen at booting or flowering. On the other hand, the relation P/L was reduced, due to an increase in dough extensibility (L value). Falling number was influenced by late N fertilization only in cultivar Quartzo. Gluten strength (W) and protein content correlated significantly, but the relation was specific for each cultivar and year. Splitting the same N rate in more applications was efficient to improve wheat grain quality. In this sense, nitrogen fertilization at booting or flowering was efficient to increase bread-making grain quality of the wheat cultivars Quartzo and Mirante in 2010 and 2011.

¹ Master of Science dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (108p.) June, 2012.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 A cultura do trigo.....	4
2.2 Importância do nitrogênio.....	6
2.2.1 Adubação nitrogenada.....	7
2.3 Qualidade tecnológica do grão.....	8
2.3.1 Glúten.....	8
2.3.2 Classificação tecnológica do trigo.....	10
2.3.3 Avaliação da qualidade tecnológica dos grãos de trigo.....	13
2.3.3.1 Alveografia (avaliação da força de glúten - W).....	13
2.3.3.2 Número de queda (<i>Falling Number</i>).....	14
2.3.3.3 Peso do hectolitro (PH).....	15
2.4 Influência do nitrogênio na qualidade de grãos de trigo.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 Dados meteorológicos das estações de crescimento 2010 e 2011.....	27
4.2 Rendimento de grãos e componentes do rendimento de grãos.....	31
4.3 Peso do hectolitro (PH).....	48
4.4 Teor de glúten.....	52
4.5 Número de queda (<i>Falling number</i>).....	56
4.6 Teor de proteína no grão.....	61
4.7 Força de glúten (W).....	65
4.8 Tenacidade (Valor P), extensibilidade (Valor L) e relação P/L.....	70
4.9 Correlações entre avaliações do dossel e parâmetros de qualidade....	78
4.10 Parcelamento da aplicação de nitrogênio em cobertura.....	83
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
7. APÊNDICES.....	99
8. VITA.....	108

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Tipificação do trigo destinado à moagem e a outras finalidades, segundo Instrução Normativa nº 7, de 15 de agosto de 2001.....	10
2. Classificação do trigo destinado à moagem e a outras finalidades, segundo Instrução Normativa nº 7, de 15 de agosto de 2001.....	10
3. Tipificação do trigo destinado à moagem e a outras finalidades, segundo Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010.....	11
4. Classificação do trigo destinado à moagem e a outras finalidades, segundo Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010.....	11
5. Características físicas e químicas das amostras de solo retiradas das áreas experimentais antes da instalação dos experimentos. EEA/UFRGS, Eldorado do sul 2010 e 2011.....	18
6. Tratamentos delineados nos experimentos conduzidos nos anos de 2010 e 2011. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2010 e 2011.....	20
7. Relação das avaliações do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), datas das avaliações e respectivos estádios de desenvolvimento da cultura. EEA/UFRGS, 2010.....	24
8. Relação das avaliações realizadas com o clorofilômetro, datas das avaliações e respectivos estádios de desenvolvimento da cultura. EEA/UFRGS, 2011.....	25

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Gráfico fornecido pelo alveógrafo, mostrando os valores que são obtidos pela alveografia (Valores P e L e força de glúten – W).....	14
2. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2010 e normal climática (1970-2000). Eldorado do Sul, RS, 2010.....	28
3. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2010 e normal climática (1970-2000). Eldorado do Sul, RS, 2011.....	29
4. Rendimento de grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.....	32
5. Peso de 1000 grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.....	34
6. Número de espigas m ⁻² das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.....	36
7. Número de grãos espiga ⁻¹ das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.....	38
8. Variação dos valores de leitura do clorofilômetro entre espigamento (06/10) e início do enchimento de grãos (20/10) na cultivar de trigo Quartzo em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento. A seta indica o momento de aplicação de N no florescimento. Eldorado do Sul, RS, 2011.....	40

9. Variação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) entre o emborrachamento (24/09) e início do enchimento de grãos (15/10) nas cultivares de trigo Quartzo (a) e Mirante (b), em função da aplicação de nitrogênio no estágio de florescimento. A seta indica o momento de aplicação de N. Eldorado do Sul, RS, 2010..... 42
10. Peso do hectolitro das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS..... 49
11. Teor de glúten úmido das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. * não avaliado. Eldorado do Sul, RS..... 54
12. Teor de glúten seco das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. * não avaliado. Eldorado do Sul, RS..... 55
13. Número de queda das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. * não avaliado. Eldorado do Sul, RS..... 57
14. Teor de proteína no grão das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS..... 62
15. Força de glúten (W) das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. * não avaliado. Eldorado do Sul, RS..... 66
16. Tenacidade (Valor P) das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. * não avaliado. Eldorado do Sul, RS..... 72

17. Extensibilidade (Valor L) das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. * não avaliado. Eldorado do Sul, RS..... 74
18. Relação P/L das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. * não avaliado. Eldorado do Sul, RS..... 76
19. Relação entre os valores de leitura do clorofilômetro aos 9 dias após o florescimento e teor de proteína no grão (a) e força de glúten (b) na cultivar de trigo Quartzo. Eldorado do Sul, RS, 2011..... 79
20. Relação entre teor de proteína no grão e força de glúten da massa (W) nas cultivares de trigo Quartzo e Mirante, nos anos de 2010 e 2011. *=valor atípico não considerado na análise. Eldorado do Sul, RS..... 81
21. Rendimento de grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em função do parcelamento da aplicação de nitrogênio em cobertura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS, 2011..... 84
22. Peso de 1000 grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em função do parcelamento da aplicação de nitrogênio em cobertura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS, 2011..... 85
23. Peso do hectolitro das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em função do parcelamento da aplicação de nitrogênio em cobertura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS, 2011..... 86
24. Teor de proteína no grão das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em função do parcelamento da aplicação de nitrogênio em cobertura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS, 2011..... 88

1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) apresenta grande importância mundial, pois é a segunda cultura produtora de grãos em termos de produção. Os grãos e a farinha de trigo são utilizados mundialmente como matéria prima de inúmeros produtos, como a farinha destinada à fabricação de pães, massas e biscoitos e o farelo, usado na alimentação animal, assim como tem utilização na indústria farmacêutica, como o gérmen de trigo.

Uma das dificuldades que a comercialização do trigo nacional apresenta, é o fato do País não produzir o produto que os moinhos nacionais demandam em relação à qualidade de panificação. Este cenário, entretanto, está em mudança, em função de novos genótipos indicados para cultivo e da adoção de práticas de manejo que podem contribuir para melhoria da qualidade tecnológica dos grãos de trigo produzidos.

O potencial genético da cultura do trigo em produzir grãos com qualidade adequada sofre influência de vários fatores, tais como adubação, controle fitossanitário, manejo do solo, condições meteorológicas e manejo pré e pós-colheita. Esses fatores podem interferir de tal maneira que a planta não expresse seu potencial genético, produzindo grãos de qualidade inferior.

Em função do clima do Rio Grande do Sul, muitas vezes as cultivares não conseguem expressar o seu potencial genético de qualidade de grãos para panificação, pois a ocorrência de condições meteorológicas adversas, como dias

nublados durante o enchimento de grãos e chuvas na colheita, interferem no desempenho da cultivar. Para aumentar a produção de trigo “pão” e “melhorador” são necessários, além de genótipos com potencial de produção de farinhas de qualidade, o estudo de práticas de manejo, como a adubação nitrogenada, que proporcionem incremento na qualidade do grão de trigo.

As práticas relacionadas ao manejo da adubação nitrogenada são amplamente pesquisadas no mundo, sendo que, em algumas situações, são realizadas aplicações de fertilizante nitrogenado próximo ao estágio de florescimento, com objetivo de aumentar o teor de proteína nos grãos.

Estudos estão sendo realizados para verificar o efeito de diferentes doses de nitrogênio e diferentes épocas de aplicação deste nutriente em cobertura como uma prática de manejo que possibilite o aumento ou melhoria da qualidade dos grãos para fins de panificação, mas os resultados são conflitantes. No Brasil, a prática da adubação em cobertura com nitrogênio é adotada como forma de manutenção e maximização do potencial produtivo da cultura do trigo, porém não visa diretamente a melhoria da qualidade final do produto.

Para fabricação dos diferentes produtos que possuem a farinha de trigo como matéria prima, são exigidos parâmetros físico-químicos (teor de proteína, teor de glúten, número de queda) e reológicos (força de glúten, estabilidade da massa) específicos para que o produto final apresente as características desejadas pelo consumidor. No ano de 2012, uma nova instrução normativa entrará em vigor no País, modificando as classes comerciais do trigo e os parâmetros utilizados para defini-las, sendo que os valores dos parâmetros utilizados para determinar a classe comercial serão mais rígidos para classificação dos grãos com finalidade de panificação.

O presente trabalho objetivou estudar alternativas no manejo da adubação nitrogenada que possibilitem melhorar a qualidade dos grãos de trigo produzidos.

Neste contexto, os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Avaliar o efeito da adubação nitrogenada por ocasião do emborrachamento ou florescimento da cultura e do parcelamento da aplicação de N em cobertura sobre o rendimento de grãos e a qualidade tecnológica de grãos de trigo

- Avaliar existência de relação entre o teor de proteína no grão e a força de glúten (W) e a relação destes parâmetros com os valores de leitura do clorofilômetro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do trigo

O trigo (*Triticum aestivum*) é uma planta de ciclo anual, pertencente à família *Poaceae* e ao gênero *Triticum*, cultivada durante os períodos de outono, inverno e primavera na região Sul do País.

A cultura do trigo tem crescimento e desenvolvimento apropriado com temperaturas do ar na faixa de 10°C a 24°C, necessitando de período de baixas temperaturas no início do ciclo e umidade do ar relativamente baixa. Baixas temperaturas do ar são conseguidas por efeito de latitude ou altitude. No entanto, a cultura exige, no restante do ciclo, período com temperaturas um pouco mais elevadas, sem ocorrência de geadas. A precipitação pluvial anual, nas principais áreas de cultivo deste cereal no mundo, varia entre 250 mm e 1750, com predominância entre 380 mm e 1130 mm por ano (Mundstock, 1999).

O trigo apresenta grande importância mundial, uma vez que é a segunda cultura produtora de grãos em termos de produção, sendo superado apenas pela cultura do milho. O consumo médio de trigo no Brasil é de, aproximadamente, 10,5 milhões de toneladas ao ano, sendo que nos últimos três anos o Brasil importou anualmente, em média, 6,45 milhões de toneladas de grãos de trigo (CONAB, 2012). Atualmente, apesar dos avanços na área tecnológica gerados pela pesquisa e do aumento na produtividade de grãos, a maior parte do trigo consumido no Brasil ainda é importada. Isto tem como uma das causas principais

a instabilidade da produção brasileira de trigo no que se refere à qualidade da farinha, dificultando, desta maneira, sua comercialização e destinação (Tonon, 2010).

O grão de trigo é consumido na forma de pão, massa alimentícia, bolo e biscoito ou, também, como ração animal, quando não atinge a qualidade exigida para consumo humano. No Brasil, aproximadamente 52% da farinha de trigo produzida é utilizada para panificação industrial, 21% para uso doméstico, 16% para fabricação de massas alimentícias e 11% para fabricação de biscoitos (ABITRIGO, 2012).

Aproximadamente 90% da produção de trigo no Brasil está localizada nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A cultura do trigo no Brasil apresentou, na safra 2010, área cultivada de 2.150 mil hectares, apresentando redução de 11,5% em comparação ao ano de 2009. A produtividade média no País, no ano de 2010, foi de 2.736 kg ha⁻¹, com acréscimo de 32,2%, quando comparada à safra anterior (CONAB, 2012). Em 2011, a área cultivada foi de 2.166 mil hectares, sendo 0,8% maior que a área cultivada na safra 2010. O Rio Grande do Sul apresentou aumento de 17,6% na área cultivada em 2011 (CONAB, 2012) e, desta maneira, superou o estado do Paraná em termos de produção, se constituindo, no ano de 2011, no maior produtor de trigo do País.

Em 2011, o setor de panificação apresentou crescimento de 11,9%. A expectativa é de que, em 2012, também ocorra evolução superior a 10% neste setor (ABITRIGO, 2012). Para que isso ocorra, o mercado de trigo demanda produto de qualidade adequada para panificação.

Os produtores estão buscando utilizar cultivares classificadas como trigo “pão” e trigo “melhorador” para atender a esta demanda seletiva. Com a nova

classificação do trigo, a qual entrará em vigor em 2012, a exigência de qualidade do produto é crescente, sendo uma tendência o aumento no uso de cultivares de trigo “pão” e “melhorador”, visando aumentar a competitividade no mercado e a obtenção de preços mais elevados. Conforme instrução normativa vigente para comercialização em 2011, aproximadamente 90% das cultivares de trigo utilizadas no Rio Grande do Sul foram classificadas nas classes “pão” e “melhorador” (CONAB, 2012).

2.2 Importância do nitrogênio

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais importantes para as plantas cultivadas, pois participa diretamente dos processos de crescimento e desenvolvimento, desempenhando inúmeras funções na fisiologia da planta.

Este elemento é constituinte de paredes celulares, clorofila, proteínas, ácidos nucléicos e outros componentes da célula. A deficiência de nitrogênio na planta causa clorose das folhas, devido à redução do conteúdo de clorofila. Além disso, sua deficiência resulta em folhas menores e em menor afilamento, rendimento de grãos e teor de proteína nos grãos (Harper, 1994), bem como promove redução na taxa fotossintética por unidade de área foliar e menor disponibilidade de aminoácidos (Shangguan *et al.*, 2000).

Apesar da sua importância fisiológica, em regiões tropicais e subtropicais, devido ao grande número de reações a que está sujeito e a sua alta instabilidade no solo, o nitrogênio é um dos nutrientes mais difíceis de serem manejados (Ernani, 2003). Devido a esse fato, o manejo do N deve ser o mais eficiente possível, utilizando-se doses adequadas nos períodos indicados de desenvolvimento da planta.

2.2.1 Adubação nitrogenada

A indicação de adubação nitrogenada em espécies produtoras de grãos apresenta inúmeros desafios, em função da dificuldade de prever-se a quantidade de N mineralizado pelo solo a partir da matéria orgânica e da alta mobilidade do nitrato no perfil do solo. Além disso, normalmente existe grande variabilidade espacial do teor de nitrato e da capacidade de suprimento de N pelo solo, bem como do estado nutricional das plantas em relação ao N em condições de lavoura. Além disso, os valores de N mineral no solo podem variar entre regiões e dentro de uma mesma região, bem como durante o ciclo de desenvolvimento das culturas (Poletto *et al.*, 2008).

Atualmente, a indicação de adubação nitrogenada para a cultura do trigo no estado do Rio Grande do Sul utiliza o teor de matéria orgânica do solo, a cultura antecessora (leguminosa ou poácea) e o rendimento esperado (expectativa de rendimento) para determinação da dose total de N a ser aplicada (Reunião..., 2011). Essa indicação possibilita que o produtor estime de maneira simples a quantidade de nitrogênio a ser utilizada em sua lavoura, mas não é totalmente precisa, uma vez que os processos envolvidos na dinâmica deste nutriente são muito influenciados pelo ambiente (Argenta & Silva, 1999).

A relação entre nutrição e produção é de fundamental importância para todas as culturas, mas a adubação nitrogenada é particularmente importante em trigo, pois influencia o conteúdo e a composição das proteínas armazenadas no grão, o que designa a destinação do trigo como matéria prima para determinados produtos e sua qualidade para produção de pão e de outros produtos alimentícios (Godfrey *et al.*, 2010).

Neste sentido, a tecnologia que se tem disponível atualmente, em relação à utilização de fertilizantes nitrogenados para produção de trigo no Sul do Brasil, foi

desenvolvida levando-se em consideração apenas aspectos relacionados à produtividade da cultura. Desta maneira, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias, principalmente no que diz respeito ao manejo da fertilização nitrogenada, que propiciem igualmente a obtenção de grãos de trigo de elevada qualidade tecnológica (Rodrigues *et al.*, 2010a).

2.3 Qualidade tecnológica do grão

O conceito de qualidade tecnológica de grãos (e farinha) de trigo é o somatório de diferentes características que, em conjunto, fazem com que estes sejam apropriados para uma respectiva finalidade (Tonon, 2010). A qualidade do grão de trigo é dependente das interações que a cultura sofre no campo, das condições do solo, clima, incidência de pragas e moléstias, manejo da cultura e genótipo utilizado, bem como das operações de colheita, secagem, armazenamento e moagem (Pomeranz, 1987).

A farinha de trigo, ao ser misturada com água, tem capacidade de formar uma massa capaz de reter o gás carbônico produzido durante a fermentação, o que gera o aumento do volume do pão. Isso ocorre pois o trigo é um cereal cuja farinha possui propriedades do glúten, apresentando, assim, maior aptidão para o processo de panificação (Mandarino, 1993). Na prática, o termo glúten refere-se às proteínas gliadinas e gluteninas, as quais desempenham papel fundamental na determinação da qualidade de panificação, conferindo capacidade de absorção de água, coesividade, viscosidade e elasticidade à massa (Torbica *et al.*, 2007).

2.3.1 Glúten

O glúten é composto pela mistura de cadeias proteicas longas de gliadinas e gluteninas. A função das proteínas que compõem o glúten, é fornecer reservas

de carbono, nitrogênio e enxofre para suprir as necessidades de nutrientes durante o processo de germinação do grão. Sendo assim, as proteínas formadoras do glúten são classificadas como proteínas de reservas (Tonon, 2010).

As proteínas do glúten são divididas em dois grupos, segundo sua solubilidade em solução de etanol-água, sendo as gliadinas solúveis e as gluteninas insolúveis nesta solução (Katagiri *et al.*, 2011). Estas duas frações proteicas são importantes contribuintes para as propriedades reológicas da massa, porém apresentam funções distintas.

As gliadinas possuem pouca elasticidade e são menos coesas do que as gluteninas. Dessa maneira, a sua principal função se relaciona com a viscosidade e à extensibilidade da massa. Já as gluteninas são coesas e elásticas e são responsáveis pela resistência da massa (Wieser, 2007).

A glutenina é uma proteína polimérica, sendo classificada de acordo com seu peso molecular, possuindo subunidades de alto (APM) e de baixo peso molecular (BPM). A gliadina, por outro lado, é uma proteína monomérica. As proteínas de reserva do grão são constituídas por, cerca de, 50% de gliadinas, enquanto que entre 10% e 40% são subunidades de gluteninas de APM e BPM, respectivamente (Payne *et al.*, 1984). O balanço entre as proteínas formadoras de glúten é responsável pelas propriedades físicas, como força, extensibilidade e capacidade de expansão da massa (Naeem *et al.*, 2012). Sendo assim, a relação entre essas duas frações proteicas nos grãos de trigo é fator determinante na qualidade final do produto (Weiser, 2007).

As proteínas do glúten estão entre as mais complexas encontradas na natureza, devido a sua composição e à variabilidade causada por genótipo, condições de cultivo e processos tecnológicos (Weiser, 2007).

2.3.2 Classificação tecnológica do trigo

Os diferentes produtos que possuem a farinha de trigo como matéria prima, exigem características físico-químicas e reológicas específicas para que este produto final apresente as características desejadas pelo consumidor. Desta maneira, sendo a farinha obtida a partir do trigo, pode-se dizer que, para a fabricação de vários produtos, são necessários diferentes tipos de grãos de trigo (Guarienti, 2009).

No Brasil, a classificação comercial da qualidade tecnológica de um lote de trigo é definida pelo “Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Trigo”, que segue a Instrução Normativa nº 7, de 15 de agosto de 2001. Segundo esta normativa, os grãos são classificados em “tipos” (Tabela 1) e “classes” (Tabela 2) (Brasil, 2001).

TABELA 1. Tipificação do trigo destinado à moagem e a outras finalidades, segundo Instrução Normativa nº 7, de 15 de agosto de 2001.

Tipo	Peso do hectolitro (kg hl ⁻¹)	Matérias Estranhas impurezas (% máx.)	Defeitos (% máxima)		
			Danificados por insetos	Pelo calor, mofados e ardidos	Chochos, triguilhos e quebrados
1	78	1,00	0,50	0,50	1,50
2	75	1,50	1,00	1,00	2,50
3	72	2,00	1,50	2,00	5,00

Fonte: Brasil (2001).

TABELA 2. Classificação do trigo destinado à moagem e a outras finalidades, segundo Instrução Normativa nº 7, de 15 de agosto de 2001.

Classe	Força do glúten (x10 ⁻⁴ J) (valor mínimo)	Número de queda (s) (valor mínimo)
Melhorador	300	250
Pão	180	200
Brando	50	200
Outros usos	Qualquer	<200
Trigo <i>Durum</i>		250

Fonte: Brasil (2001).

A partir de julho de 2012, contudo, a classificação de trigo passará a seguir a Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010 (Brasil, 2010) (Tabelas 3 e 4).

TABELA 3. Tipificação do trigo destinado à moagem e a outras finalidades, segundo Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010.

Tipo	Peso do hectolitro (kg hl ⁻¹)	Matérias estranhas/impurezas (% máx.)	Defeitos (% máxima)			Total de defeitos (% máx.)
			Danificado por insetos	Pelo calor, mofados e ardidos	Chochos, triguilhos e quebrados	
1	78	1,00	0,50	0,50	1,50	2,00
2	75	1,50	1,00	1,00	2,50	3,50
3	72	2,00	2,00	2,00	5,00	7,00
Fora de tipo	<72	>2,00	>2,00	10,00	>5,00	>7,00

Fonte: Brasil (2010).

TABELA 4. Classificação do trigo destinado à moagem e a outras finalidades, segundo Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010.

Classe	Força do glúten (x10 ⁻⁴ J) (valor mínimo)		Estabilidade (minutos)	Número de queda (s) (valor mínimo)
Melhorador	300	e	14	250
Pão	220	ou	10	220
Doméstico	160	ou	6	220
Básico	100	ou	3	200
Outros usos	Qualquer		Qualquer	Qualquer

Fonte: Brasil (2010).

Em relação à tipificação, os grãos de trigo eram classificados na Instrução Normativa nº 7 (Brasil, 2001) em três tipos, expressos por números de 1 a 3 e definidos em função do limite mínimo do peso do hectolitro (PH) e dos limites máximos dos percentuais de umidade, matérias estranhas e impurezas e grãos avariados (Tabela 1). Na Instrução Normativa nº 38 (Brasil, 2010), os mesmos tipos foram mantidos, sendo incluído um tipo denominado “fora de tipo” (Tabela 3).

Em relação à classificação por classe, o trigo era classificado em cinco classes (“brando”, “pão”, “melhorador”, “outros usos” e “durum”), as quais eram definidas em função dos valores dos testes de alveografia (força de glúten - W) e número de queda (*falling number*) (Tabela 2). Na Instrução Normativa nº38 (Brasil, 2010), os grãos continuam sendo divididos em cinco classes, porém com diferentes denominações e critérios (“melhorador”, “pão”, “doméstico”, “básico” e “outros usos”) (Tabela 4). A classe “pão” teve o limite mínimo de força de glúten (W) aumentado de $180 \times 10^{-4} \text{J}$ para $220 \times 10^{-4} \text{J}$. Para ser enquadrado na classe “melhorador”, o grão de trigo deve atender simultaneamente os valores mínimos estabelecidos para força do glúten (W), estabilidade da massa e número de queda. Já para ser enquadrado nas demais classes, o grão deve apresentar os valores mínimos estabelecidos para força do glúten ou estabilidade e número de queda (Brasil, 2010).

A destinação dos grãos de trigo varia conforme sua classificação. O trigo classificado como “brando” é utilizado na fabricação de bolos, biscoitos doces, produtos de confeitaria, pizzas e massas do tipo caseira fresca. A classe tipo “pão” engloba grãos de trigo com aptidão para produção de pães (tipo francês ou d’água) e também pode ser utilizado para produção de massas alimentícias secas e folhados ou em uso doméstico, dependendo de suas características de força de glúten (W). Já o trigo enquadrado na classe “melhorador” é normalmente utilizado em misturas com grãos de genótipos de trigo “brando”, para fins de panificação, produção de massas alimentícias, biscoitos do tipo *crackers* e pães industriais (pão de forma e pão para hambúrguer). Na classe do trigo *durum*, especificamente os grãos da espécie *Triticum durum* L., estão os genótipos de trigo para produção de massas alimentícias secas. Grãos de trigo para “outros

usos” são os destinados à alimentação animal ou outro uso industrial (Scheeren & Miranda, 1999).

2.3.3 Avaliação da qualidade tecnológica dos grãos de trigo

A qualidade tecnológica dos grãos é avaliada por meio de testes físico-químicos, como peso do hectolitro e número de queda (*falling number*), e testes reológicos, como alveografia. Existem adicionalmente outros testes utilizados para avaliar a qualidade tecnológica do trigo, os quais, contudo, não serão abordados no presente trabalho.

2.3.3.1 Alveografia (avaliação da força de glúten – W)

A alveografia é um teste reológico que simula, graficamente, o comportamento da farinha durante a fase de fermentação no processo de panificação, sendo realizado pelo equipamento denominado alveógrafo (Tonon, 2010). Este teste analisa as propriedades de tenacidade (Valor P), que indica a pressão máxima necessária para expandir a massa, e extensibilidade (Valor L), que indica a capacidade máxima de extensão da massa, sem que ela se rompa.

Através desse teste, é quantificado o parâmetro “W” (força de glúten), que indica a força ou trabalho mecânico ($W = \text{work} = \text{trabalho}$) necessário para expandir a massa. A relação entre tenacidade e extensibilidade (relação P/L) expressa o equilíbrio da massa (Embrapa, 2012).

Na Figura 1 é apresentado um exemplo de alveograma, o qual mostra as principais medidas obtidas, no qual o comprimento da curva é a extensibilidade (valor L), a altura representa a tenacidade da massa (valor P) e a área circunscrita pela curva representa a força geral do glúten (W).

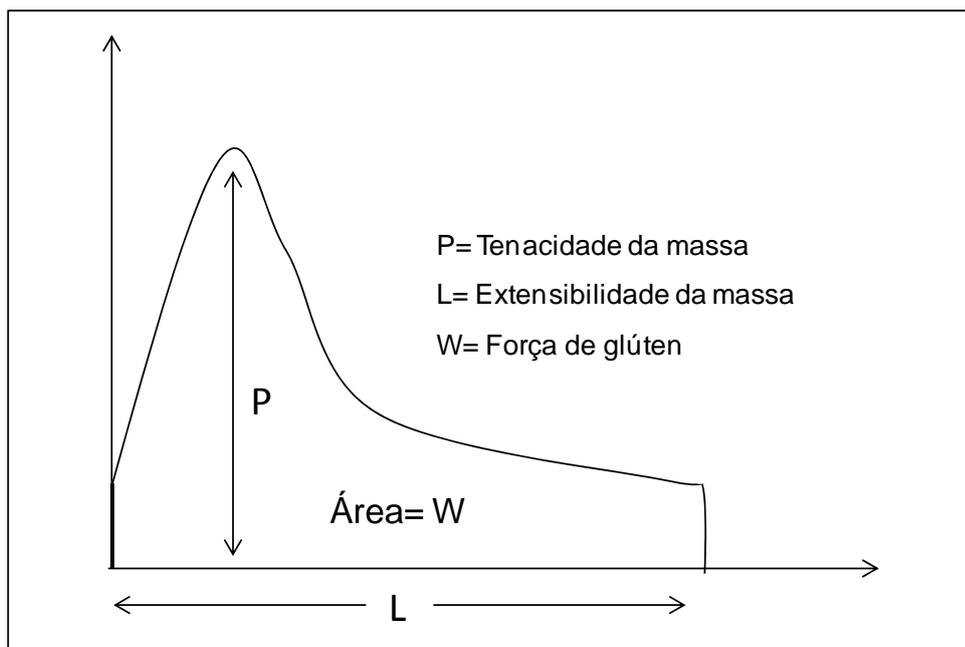


FIGURA 1. Gráfico fornecido pelo alveógrafo, mostrando os valores que são obtidos pela alveografia (Valores P e L e força de glúten – W).

2.3.3.2 Número de queda (*Falling number*)

O número de queda (*Falling number*) é uma avaliação indireta da atividade da enzima alfa-amilase presente no grão de trigo. Através deste teste, pode-se detectar a ocorrência de germinação dos grãos na espiga (germinação pré-colheita), fato que diminui a qualidade do grão, pois, quando ocorre ativação da enzima alfa-amilase, esta degrada o amido acumulado no grão, inviabilizando o emprego da farinha resultante para fins industriais.

Através deste teste é possível prever o comportamento da farinha durante a etapa de fermentação da massa no processo de panificação. Assim, por meio desse índice pode-se estimar a capacidade de fermentação que a massa de uma determinada farinha possui (Cazetta *et al.*, 2008). Quanto menor o número de queda, maior o teor de enzima presente na farinha.

2.3.3.3 Peso do hectolitro (PH)

O peso do hectolitro é o peso de 100 litros de grãos e expressa, indiretamente, atributos de qualidade de grãos, em especial aqueles relacionados com a moagem.

Na determinação do peso do hectolitro estão relacionadas inúmeras características do grão, como forma, textura do tegumento, tamanho, peso e características extrínsecas ao grão de trigo, como presença de palha, terra e outras matérias estranhas misturadas aos grãos. Valores muito baixos de peso do hectolitro podem indicar ocorrência de estresses na lavoura que tenham afetado o enchimento de grãos e, em consequência, sua qualidade (Guarienti, 1996).

O peso do hectolitro é tradicionalmente utilizado como parâmetro de comercialização em vários países, sendo que, no caso de trigo, o peso do hectolitro básico considerado é de 78 kg/hl. O preço padrão que é fixado ao trigo pressupõe este valor, sendo que o desvio deste valor para cima ou para baixo determina acréscimo ou diminuição do preço pago por determinado lote de grãos de trigo, respectivamente. O preço diferencial relaciona-se ao rendimento de extração de farinha, pois grãos que apresentam peso de hectolitro acima de 78 kg/hl produzem maior rendimento de extração de farinha (Mundstock, 1999).

A simplicidade e a rapidez na avaliação do peso do hectolitro fizeram com que este teste fosse amplamente adotado como um indicador para avaliação de qualidade de grãos de trigo (Mundstock, 1999).

2.4 Influência do nitrogênio na qualidade de grãos de trigo

A classificação comercial (classe) dos genótipos de trigo é um indicativo de qualidade que pode, em muitos casos, não se confirmar, em função de vários fatores que a influenciam, tais como adubação, controle fitossanitário, manejo do

solo, condições meteorológicas e manejo pré e pós-colheita dos grãos (Guarienti, 2009).

O teor de proteína no grão é um fator importante na indicação da destinação dos grãos de trigo e também na qualidade de panificação. Ajustes de mercado para o trigo foram estabelecidos em vários locais do mundo, baseados no conteúdo de proteína no grão, onde são pagos “prêmios” para grãos de trigo que apresentam teor de proteína acima de um determinado nível padrão (Woolfolk *et al.*, 2002). Contudo, elevado teor de proteína no grão não é, por si só, indicativo de qualidade adequada, visto que a qualidade de panificação depende também da composição e da interação das principais proteínas formadoras do glúten em trigo (gluteninas e gliadinas) (Porceddu citado por Silva *et al.*, 2004).

Segundo Johansson *et al.* (2001), o teor de proteína e a composição de subunidades de proteínas específicas influenciam a qualidade de panificação do trigo. Em relações às práticas agronômicas, a adubação nitrogenada é considerada o principal fator que influencia o acúmulo de proteínas de armazenamento, bem como a qualidade tecnológica dos grãos de trigo (Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2010). Desse modo, estudos estão sendo realizados para verificar o efeito de diferentes doses de N e diferentes épocas de aplicação deste nutriente em cobertura como uma prática que possibilite a melhoria da qualidade dos grãos.

Segundo Wright *et al.* (2004), a aplicação de nitrogênio após a antese em plantas de trigo deficientes de nitrogênio incrementa a qualidade do grão significativamente, enquanto que, para plantas bem supridas de nitrogênio, essa aplicação tem pouco efeito sobre a melhoria da qualidade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos de campo foram conduzidos na estação de crescimento da cultura do trigo nos anos de 2010 e 2011 na Estação Experimental Agronômica, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul (RS).

A EEA/UFRGS está situada na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, em uma altitude média de 46 m acima do nível do mar. O clima da região é subtropical de verão úmido quente, do tipo Cfa, conforme a classificação de Koeppen (Ipagro, 1979). A precipitação pluvial média anual em Eldorado do Sul é de 1440 mm e a temperatura média mensal varia entre 13,5°C e 24,6°C, entre o mês mais frio e o mês mais quente (Bergamaschi *et al.*, 2003). A região homogênea de adaptação de cultivares de trigo na qual a EEA/UFRGS está inserida é a região 2, caracterizada como moderadamente quente, úmida e baixa (Reunião..., 2011).

Os dados meteorológicos de 2010 e 2011 para a EEA/UFRGS foram obtidos na estação meteorológica automática da UFRGS na Estação Experimental, distante aproximadamente 2 km da área experimental. Os dados coletados foram temperatura média do ar (°C), radiação solar global ($\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e precipitação pluvial (mm) durante a estação de crescimento da cultura. Estes dados meteorológicos são apresentados juntamente com os dados

meteorológicos da série histórica dos anos de 1970 a 2000 (Bergamaschi *et al.*, 2003).

O solo da área experimental pertence à unidade de mapeamento São Jerônimo, caracterizado como um Argissolo Vermelho distrófico típico (Streck *et al.*, 2008). A área onde foram realizados os trabalhos experimentais está sendo cultivada em sistema de plantio direto há 20 anos. Durante o verão, é feita rotação entre as culturas de soja e milho. No inverno são cultivados nabo forrageiro, ervilhaca, trigo ou aveia branca como culturas antecessoras aos cultivos de verão.

Antes da instalação dos experimentos, foi coletada amostra de solo representativa da área de estudo, composta de seis sub-amostras, na profundidade de 0 a 20 cm. A análise da amostra foi realizada pelo Laboratório de Análises de Solos da UFRGS, sendo os resultados apresentados na Tabela 5.

TABELA 5. Características físicas e químicas das amostras de solo retiradas das áreas experimentais antes da instalação dos experimentos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2010 e 2011.

Ano	Argila	pH	P	K	MO ¹	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V ²
	%	H ₂ O	--- mg dm ⁻³ ---		g kg ⁻¹	----- cmol _c dm ⁻³ -----			%
2010	25	5,5	44	159	19	0	3,3	1,6	46
2011	30	5,5	32	185	19	0	3,1	1,4	47

¹MO=matéria orgânica

²V=saturação de bases

Foi instalado experimento a campo no ano de 2010 e outro no ano de 2011 sobre resteva (resíduos) de lavoura de milho. A dessecação das áreas previamente à semeadura da cultura do trigo foi realizada com herbicida de ação total a base de glifosato (3 L ha⁻¹ do produto comercial).

Nos dois anos, os tratamentos constaram de duas cultivares de trigo (Quartzo e Mirante) e dois níveis de nitrogênio (N) aplicados por ocasião do

florescimento da cultura (sem N ou 40 kg ha^{-1}). O florescimento foi caracterizado quando, no mínimo, 50% das plantas da parcela apresentavam anteras visíveis.

No experimento realizado em 2011 utilizou-se, adicionalmente, um tratamento no qual as plantas receberam dois níveis de N aplicados no estágio de emborrachamento da cultura (sem N ou 40 kg ha^{-1}). O estágio de emborrachamento foi definido como sendo o estágio no qual a espiga encontrava-se envolta pela bainha da folha bandeira (ocorrido em 29 de setembro de 2011) (Tabela 6).

Nos dois anos, todas as parcelas receberam, por ocasião da emergência das plantas, a aplicação de 20 kg ha^{-1} de N, assim como a aplicação de N em cobertura, na dose de 80 kg ha^{-1} , no estágio de seis folhas completamente expandidas no colmo principal. O estágio de desenvolvimento foliar do colmo principal foi identificado utilizando-se a escala proposta por Haun (1973) para o colmo principal. De acordo com esta escala, as folhas são numeradas em ordem acrópeta e o valor dado pela escala para cada estágio fenológico reflete o número de folhas completamente expandidas da planta, mais as unidades decimais da última folha (em expansão) relativas à anterior.

Além disso, no experimento conduzido em 2011, foi realizada a aplicação da dose total de 140 kg N ha^{-1} parcelada de duas maneiras distintas. Em um dos tratamentos, a dose total foi dividida em duas aplicações (60 kg N ha^{-1} na emergência das plantas + 80 kg N ha^{-1} no estágio de seis folhas completamente expandidas no colmo principal). Em outro, a dose total foi dividida em três aplicações (20 kg N ha^{-1} na emergência + 80 kg ha^{-1} no estágio de seis folhas expandidas + 40 kg N ha^{-1} nos estágios de emborrachamento ou florescimento da cultura) (Tabela 6). Estes tratamentos foram delineados visando estudar o efeito do fracionamento da aplicação de N sobre o rendimento de grãos e alguns

parâmetros de qualidade de grãos de trigo (peso de mil grãos, peso do hectolitro e teor de proteína).

TABELA 6. Tratamentos delineados nos experimentos conduzidos nos anos de 2010 e 2011. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2010 e 2011.

Ano	Emergência	Seis folhas ¹	Emborrachamento ²	Florescimento ³
			kg N ha ⁻¹	
2010	20	80	-	-
	20	80	-	40
2011	20	80	-	-
	20	80	40	-
	20	80	-	40
	60	80	-	-

¹ Estádio de seis folhas completamente expandidas (Haun, 1973).

² Estádio no qual a espiga encontra-se envolta pela bainha da folha bandeira.

³ Parcela com, no mínimo, 50% das plantas florescidas (visualização das anteras).

Em todos os tratamentos, o nitrogênio foi aplicado na forma de ureia, contendo 45% de N.

As cultivares utilizadas (Quartzo e Mirante) apresentam ciclo médio e são indicadas para cultivo em todas as regiões homogêneas de adaptação dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, sendo classificadas como trigo classe “pão” (Reunião..., 2011). Em relação à germinação na espiga, a cultivar Quartzo é considerada resistente a moderadamente resistente, enquanto que a cultivar Mirante é classificada como moderadamente suscetível (Reunião..., 2011). No ano de 2011, a cultivar Quartzo respondeu por 28,3% da produção bruta total de sementes de trigo no estado do RS, enquanto que a cultivar Mirante respondeu por 23,3% (APASSUL, 2012).

Os experimentos foram conduzidos no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro (em 2010) ou cinco repetições (em 2011). Cada unidade experimental foi composta por uma área de 6,48 m². Nela, foram

semeadas 12 linhas espaçadas em 0,18 m e com 3,0 m de comprimento. A densidade de semeadura foi de 300 sementes aptas m^{-2} .

Nos dois anos, a área experimental recebeu, uniformemente, adubação com fósforo e potássio um dia antes da semeadura, sendo os fertilizantes aplicados em linha. A adubação correspondeu à aplicação de 300 $kg\ ha^{-1}$ da formulação 0-22-30 (NPK), sendo o P_2O_5 e o K_2O aplicados na forma de superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Em 2010, o trigo foi semeado em 01 de julho e, em 2011, em 30 de junho, utilizando-se semeadora em linha. As sementes foram tratadas com fungicida à base de triadimenol (270 ml/100 kg de sementes) e inseticida à base de imidacloprido (100 ml/100 kg de sementes).

A ocorrência de doenças, como manchas foliares e ferrugem da folha, foi controlada com aplicação de fungicida à base de epoxiconazol + piraclostrobina (0,6 L ha^{-1} do produto comercial), que se repetiu a cada 20 dias no experimento realizado em 2010, totalizando três aplicações. A primeira aplicação foi realizada quando as plantas estavam no estágio de terceiro nó visível (09/09/2010). No experimento realizado em 2011, foram realizadas duas aplicações de fungicida, sendo a primeira no período de florescimento da cultura (09/10/2011) e a segunda 17 dias após, no período de enchimento de grãos. Não houve necessidade de controle de plantas daninhas em pós-emergência nem de insetos-praga durante o ciclo da cultura.

As avaliações efetuadas nos dois anos de experimento foram:

Rendimento de grãos: foi realizada a colheita de uma área de 4,05 m^2 em cada unidade experimental, o que corresponde às oito linhas centrais, descontando-se quatro linhas laterais das bordaduras. A colheita foi realizada com colhedora automotriz de parcelas. Após a colheita, foi quantificado o peso de

grãos por unidade experimental e extrapolado para rendimento de grãos (em kg ha^{-1}), na umidade de 130 g kg^{-1} .

Peso de mil grãos: foi avaliado pela pesagem de três amostras de 100 grãos de cada unidade experimental. Após, foi calculado o peso médio das três amostras de 100 grãos e o valor multiplicado por 10, sendo este valor corrigido para umidade de 130 g kg^{-1} .

Número de espigas m^{-2} : foi realizado por ocasião da colheita pela contagem do número de espigas existentes em 1,5 m de linha, o que corresponde a $0,27 \text{ m}^2$, e extrapolado para número de espigas m^{-2} .

Número de grãos espiga $^{-1}$: foi estimado pela divisão do número de grãos m^{-2} pelo número de espigas m^{-2} .

Peso do hectolitro (PH): é a massa de 100 litros de grãos de trigo, expressa em quilogramas por hectolitro (kg hl^{-1}). A quantificação da massa de 100 litros de grãos foi realizada com auxílio de balança hectolítrica, com capacidade de 250 mL, segundo metodologia descrita no Manual de Análise de Sementes publicado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 1992).

Teor de nitrogênio e proteína nos grãos: a avaliação do teor de nitrogênio no grão foi realizada pelo método Kjeldahl, conforme metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995). O teor de proteína no grão foi obtido pela multiplicação do seu teor de N por 5,7 (Lopez-Bellido *et al.*, 2004).

Nos dois anos de experimento, foram realizados também testes químicos (número de queda e teor de glúten úmido e seco) e testes reológicos (alveografia). Estes testes foram realizados no Moinho Estrela (Canoas, RS). No caso da cultivar Mirante, no experimento de 2011, as amostras do tratamento que recebeu aplicação de 40 kg N ha^{-1} no emborrachamento não foram analisadas,

em função de limitação de tempo para a execução das análises. Os testes foram realizados conforme metodologia descrita a seguir:

Número de queda: este teste tem por finalidade verificar a atividade da enzima alfa-amilase no grão, sendo dado pela medida do tempo (em segundos) em que um êmbolo leva para atravessar a suspensão gelatinizada de amido contida em um tubo de vidro (Cazetta *et al.*, 2008). A avaliação foi feita com aparelho denominado “Falling Number de Hagberg”. O número de queda, ou “*falling number*”, é um método descrito na AACC (*American Association of Cereal Chemists*), sob o número 56-81B (AACC, 1995).

Teor de glúten (glúten úmido e seco): o glúten é um conjunto de proteínas insolúveis com capacidade de formar massa. Desta forma, o glúten exerce funções importantes no processo de panificação, pela determinação das características reológicas de plasticidade, viscosidade e elasticidade da massa. A avaliação do teor de glúten fornece a medida quantitativa dessas proteínas. O teste foi realizado de acordo com o método AACC 38-12 (AACC, 1995).

Alveografia: avalia a força ou o trabalho mecânico necessário para expandir uma bolha de massa até a ruptura (W - força de glúten, expresso em 10^{-4} Joules). Este teste também avalia a tenacidade (Valor P), a extensibilidade (Valor L) (que são expressas em mm) e a relação tenacidade/extensibilidade (relação P/L). Este teste reológico é realizado pelo alveógrafo Chopin, onde é preparada uma massa com farinha de trigo e solução de cloreto de sódio. Esta massa é cortada em pequenos discos, os quais são levados ao equipamento. Então, insufla-se ar sob a lâmina da massa, provocando a formação de uma bolha. As variações de pressão até a ruptura desta bolha de massa são registradas por um manômetro, sendo os valores expressos em forma gráfica

(Tonon, 2010). Esta avaliação foi realizada de acordo com o método 54-30A (AACC, 1995).

Leitura da reflectância do dossel (em 2010): a reflectância do dossel foi avaliada pelo radiômetro Greenseeker. Este equipamento fornece o valor do “Índice de vegetação por diferença normalizada” (NDVI). O aparelho foi posicionado paralelamente às linhas da cultura, em uma altura entre 0,8 e 1,0 m acima do topo do dossel. As leituras foram realizadas por ocasião do deslocamento linear do equipamento sobre a unidade experimental, com largura útil captada pelo sensor de 0,7 a 0,8 m. Após o acionamento do sensor, ocorre a leitura de um ponto sobre o dossel a cada 0,1 segundo, totalizando cerca de 40 pontos medidos em cada unidade experimental. As leituras foram realizadas entre o estágio de emborrachamento e o início do enchimento de grãos (Tabela 7), em todo o comprimento da parcela (3,0 m).

TABELA 7. Relação das avaliações do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), datas das avaliações e respectivos estádios de desenvolvimento da cultura. EEA/UFRGS, 2010.

Avaliação	Data	Estádio de desenvolvimento
1	24/09/2010	Emborrachamento ¹
2	05/10/2010	Florescimento pleno ²
3	08/10/2010	Final do florescimento
4	15/10/2010	Início do enchimento de grãos (grão aquoso)

¹ Estádio no qual a espiga encontra-se envolta pela bainha da folha bandeira.

² Parcela com, no mínimo, 50% das plantas florescidas (visualização das anteras).

Teor de clorofila na folha bandeira da cultivar Quartzo (em 2011): as medições foram realizadas utilizando o clorofilômetro Minolta (Modelo SPAD-520®). O clorofilômetro utiliza fontes luminosas e detectores para medir a luz transmitida pela lâmina foliar, em dois comprimentos de onda (região do vermelho – 650 nm – e do infravermelho – 940 nm – do espectro). A leitura é dada em unidades SPAD (Soil and Plant Analysis Development), que indicam a intensidade

da coloração verde da folha e, indiretamente, a quantidade de clorofila (Piekielek & Fox, 1992). Foram realizadas três medições entre os estádios de espigamento e início de enchimento de grãos (Tabela 8). As avaliações foram realizadas na porção mediana da folha, sendo obtido um valor médio por parcela. Cada valor foi resultado da média do valor da leitura SPAD de 20 plantas/parcela. As medições foram realizadas somente na cultivar Quartzo, devido à presença de manchas foliares na cultivar Mirante.

TABELA 8. Relação das avaliações realizadas com o clorofilômetro, datas das avaliações e respectivos estádios de desenvolvimento da cultura. EEA/UFRGS, 2011.

Avaliação	Data	Estádio de desenvolvimento
1	06/10/2011	Espigamento ¹
2	11/10/2011	Florescimento pleno ²
3	20/10/2011	Início do enchimento de grãos (grão aquoso)

¹ Com, no mínimo, 50% das plantas com espigas visíveis externamente.

² Com, no mínimo, 50% das plantas florescidas (visualização das anteras).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$), com auxílio do aplicativo ASSISTAT versão 7.6. Quando houve significância estatística, foi feita comparação entre médias dos tratamentos pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

O parâmetro força de glúten (W) foi correlacionado com o teor de proteína no grão, considerando os resultados obtidos nos anos de 2010 e 2011. Além disso, estes dois parâmetros foram correlacionados com as leituras do clorofilômetro realizadas em 2011 no início do enchimento de grãos (20/10/2011). Os critérios utilizados para escolher o modelo de melhor ajuste para estas relações foram a significância do modelo pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade, o maior coeficiente de correlação (r) e a menor dispersão dos pontos em relação ao modelo ajustado (soma de quadrado dos resíduos),

conforme metodologia utilizada por Toebe *et al.* (2010). Estas análises foram realizadas com auxílio dos aplicativos SPSS Statistics versão 17.0 e Sigma Plot versão 8.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação e discussão dos resultados dos parâmetros avaliados neste estudo e descritos no Capítulo 3 (Material e Métodos) foram separadas e serão apresentadas em tópicos. Inicialmente, serão apresentados os dados meteorológicos do local de estudo, nos dois anos de cultivo.

4.1 Dados meteorológicos das estações de crescimento 2010 e 2011

A cultura do trigo necessita de variação climática diferenciada da maioria das culturas de grãos. Na fase inicial do ciclo da cultura de trigo, a exigência é por temperaturas baixas, tolerando bem geadas moderadas. Na fase de floração e enchimento de grãos, a preferência é por baixa umidade e temperatura do ar mais elevada, diminuindo a incidência de moléstias e favorecendo a qualidade do grão a ser colhido. Na safra de 2010, as condições meteorológicas foram favoráveis à cultura na maioria das regiões produtoras. Já em 2011 as melhores condições meteorológicas para a cultura ocorreram no Rio Grande do Sul, principalmente no período de colheita, que favoreceu a qualidade do produto colhido (CONAB, 2012).

As Figuras 2 e 3 mostram os dados meteorológicos da EEA/UFRGS, local de realização do presente estudo.

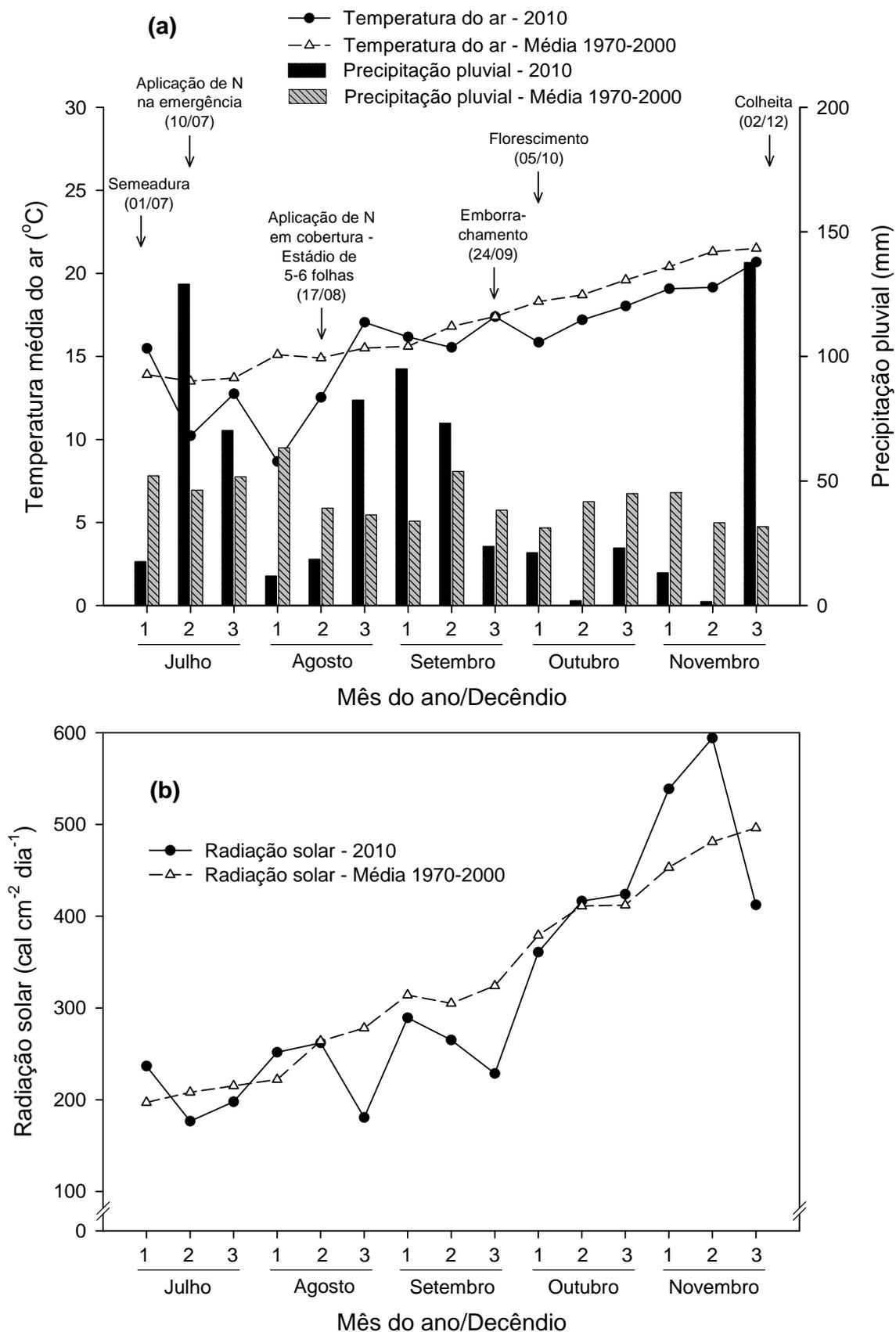


FIGURA 2. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2010 e normal climática (1970-2000). Eldorado do Sul, RS, 2010.

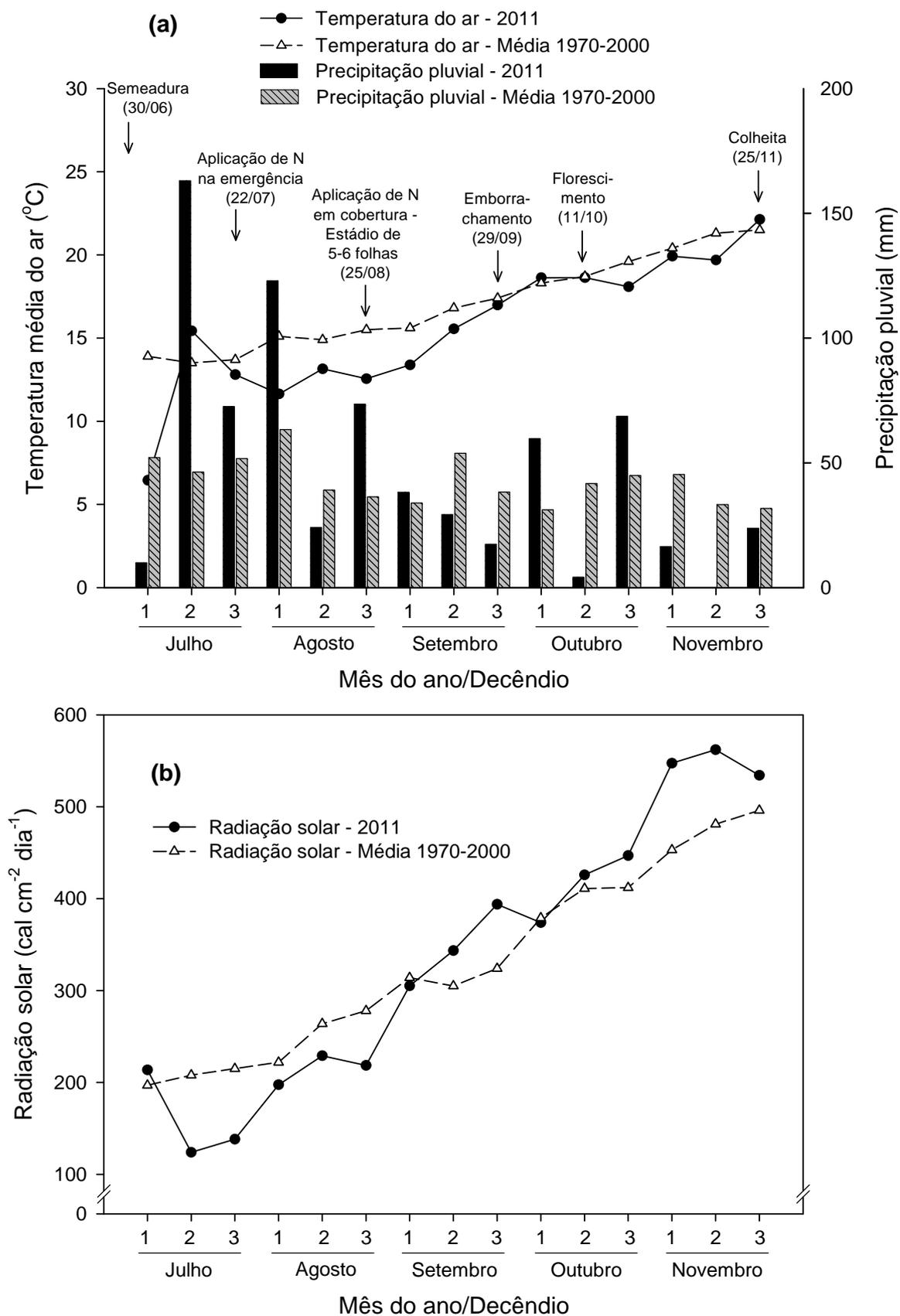


FIGURA 3. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2011 e normal climática (1970-2000). Eldorado do Sul, RS, 2011.

A temperatura do ar se manteve abaixo da média histórica durante quase todo ciclo da cultura em 2010 e 2011 (Figuras 2.a e 3.a). Temperaturas mais baixas no desenvolvimento inicial das plantas de trigo são importantes para altos rendimentos, pois diminuiu a dominância do colmo principal, retardando seu desenvolvimento e favorecendo, dessa maneira, a manutenção do sincronismo dos afilhos (Mundstock, 1999).

Em relação à precipitação pluvial, os dois anos apresentaram precipitação pluvial acima da média histórica no início do cultivo (Figuras 2.a e 3.a). No ano de 2010, houve maior volume de chuvas durante o mês de setembro do que em 2011, diminuindo a radiação solar neste mesmo mês (Figura 2.b). Antes da colheita, no ano de 2010, também ocorreu alta precipitação pluvial no terceiro decêndio do mês de novembro. Esta precipitação pluvial, entretanto, se concentrou em dois dias, provavelmente tendo pouco efeito sobre o rendimento de grãos e sobre a germinação pré-colheita. Já em 2011, o mês de outubro apresentou precipitação pluvial mais elevada no primeiro e terceiro decêndios, porém com pequeno efeito sobre a radiação solar, a qual se manteve acima da média histórica a partir do primeiro decêndio de setembro até o momento da colheita do experimento (Figura 3.b).

4.2 Rendimento de grãos e componentes do rendimento de grãos

Para o rendimento de grãos, o comportamento foi igual estatisticamente para as duas cultivares em cada um dos dois anos de cultivo (2010 e 2011) (Figuras 4.a e 4.b). Tanto em 2010 quanto em 2011, não houve diferença significativa entre o tratamento que não recebeu aplicação de N no estágio de florescimento e o tratamento que recebeu N por ocasião deste estágio, nas duas cultivares estudadas. Em 2011, para as duas cultivares, as plantas que receberam aplicação de fertilizante nitrogenado no estágio de emborrachamento da cultura apresentaram aumento significativo de rendimento de grãos quando comparadas às plantas que não receberam N ou que receberam aplicação de N por ocasião do florescimento (Figura 4.b). Neste ano, a cultivar de trigo Quartzo apresentou rendimento de grãos de 3.036 kg ha^{-1} quando não foi aplicado N tardio (emborrachamento ou florescimento), enquanto que o rendimento de grãos foi igual a 3.555 kg ha^{-1} quando ocorreu aplicação de $40 \text{ kg de N ha}^{-1}$ no emborrachamento da cultura, ou seja, verificou-se aumento de rendimento de grãos de aproximadamente 17% com aplicação de N realizada no período de emborrachamento. Para a cultivar Mirante, o rendimento de grãos foi de 2.510 kg ha^{-1} quando não houve aplicação tardia de N no emborrachamento, enquanto que o rendimento de grãos aumentou para 3.237 kg ha^{-1} quando foi aplicado N (40 kg ha^{-1}) neste estágio, ou seja, diferença de aproximadamente 29% no rendimento de grãos (Figura 4.b).

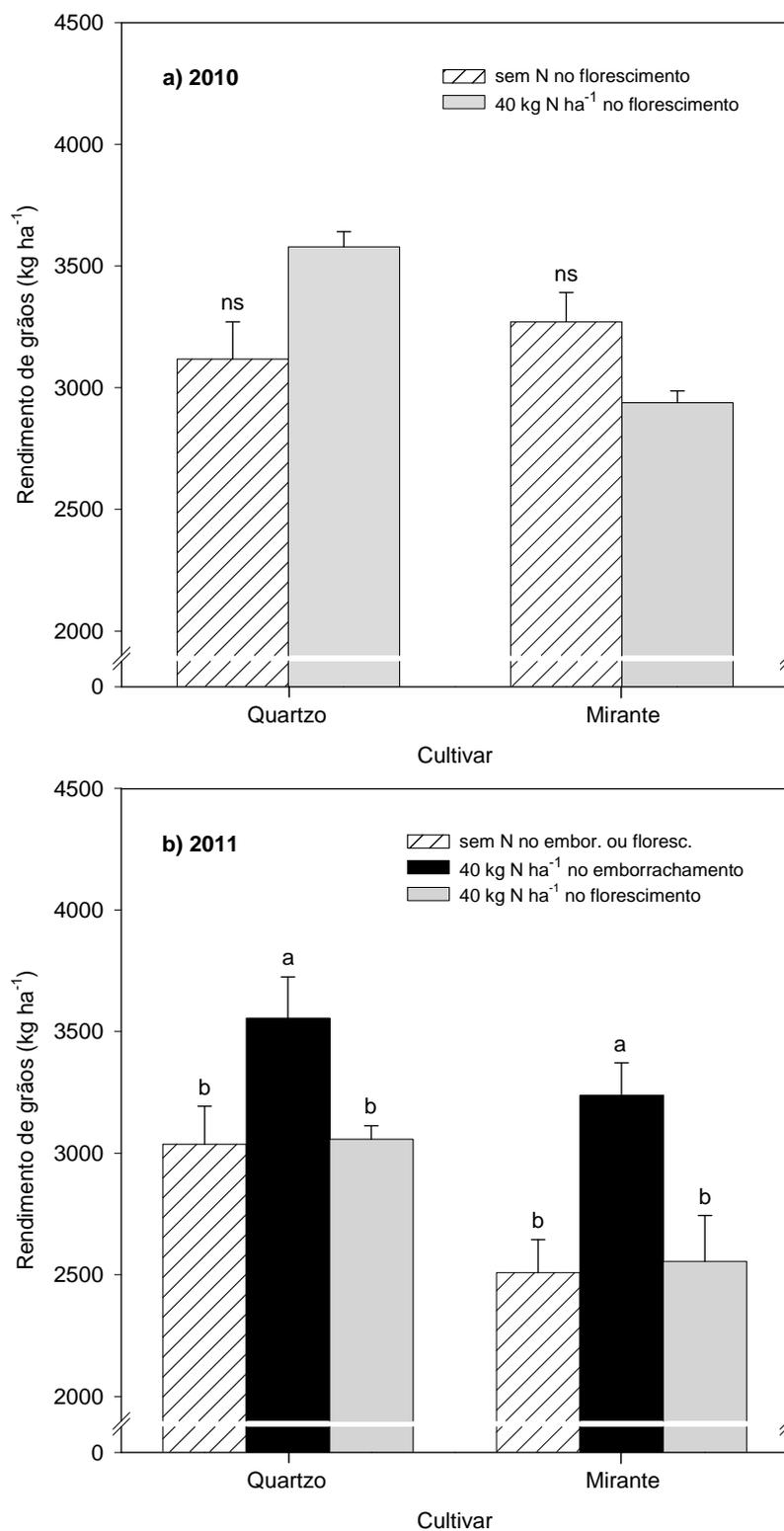


FIGURA 4. Rendimento de grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.

Apesar de não haver diferença estatística entre os tratamentos para rendimento de grãos nas duas cultivares no ano de 2010, a cultivar Quartzo quando recebeu N no florescimento apresentou maior rendimento de grãos. Essa diferença no rendimento de grãos entre os tratamentos na cultivar Quartzo em 2010 pode ser explicada em função de alterações verificadas no componente de rendimento peso do grão. O peso de 1000 grãos aumentou aproximadamente 3,0 g na cultivar Quartzo quando foi aplicado N no estágio de florescimento (Figura 5.a). Para a cultivar Mirante em 2010, o tratamento que levou N no florescimento apresentou menor rendimento de grãos, apesar de não haver diferença estatística entre os tratamentos, e isso ocorreu devido principalmente o componente de rendimento número de espiga por m^{-2} (figura 6.a).

Em 2011, a aplicação de N nos estádios de emborrachamento ou florescimento aumentou o peso de 1000 grãos, para as duas cultivares, em comparação ao tratamento sem aplicação de N nestes estádios (Figura 5.b). Além disso, para as duas cultivares de trigo, não foi observada diferença estatística significativa no peso de 1000 grãos entre os tratamentos que receberam aplicação suplementar de N no emborrachamento ou no florescimento da cultura (Figura 5.b).

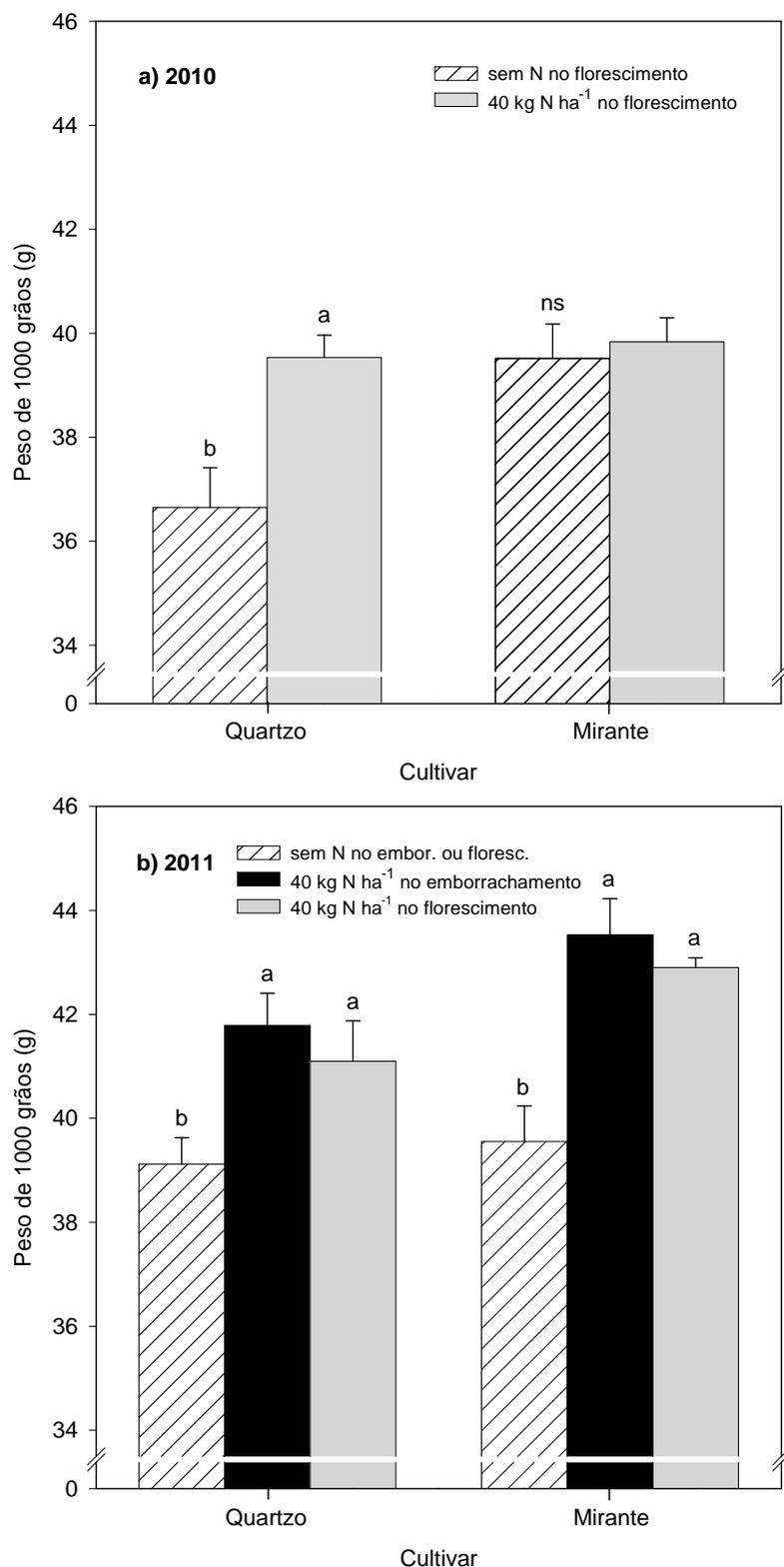


FIGURA 5. Peso de 1000 grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.

O número de espigas m^{-2} foi afetado pela aplicação tardia de N apenas na cultivar Mirante, nos dois anos de estudo. Em 2010, o tratamento que recebeu suplementação de N no estágio de florescimento apresentou menor número de espigas m^{-2} quando comparado ao tratamento sem aplicação de N neste estágio (Figura 6.a). Em 2011, o comportamento verificado foi semelhante, ou seja, o tratamento que recebeu suplementação de N no florescimento, apresentou menor número de espigas m^{-2} quando comparado aos tratamentos sem aplicação de N neste estágio ou com aplicação de N suplementar no estágio de emborrachamento da cultura (Figura 6.b).

Para a cultivar Quartzo, este componente do rendimento de grãos não variou significativamente entre os tratamentos, nos dois anos de estudo (Figuras 6.a e 6.b).

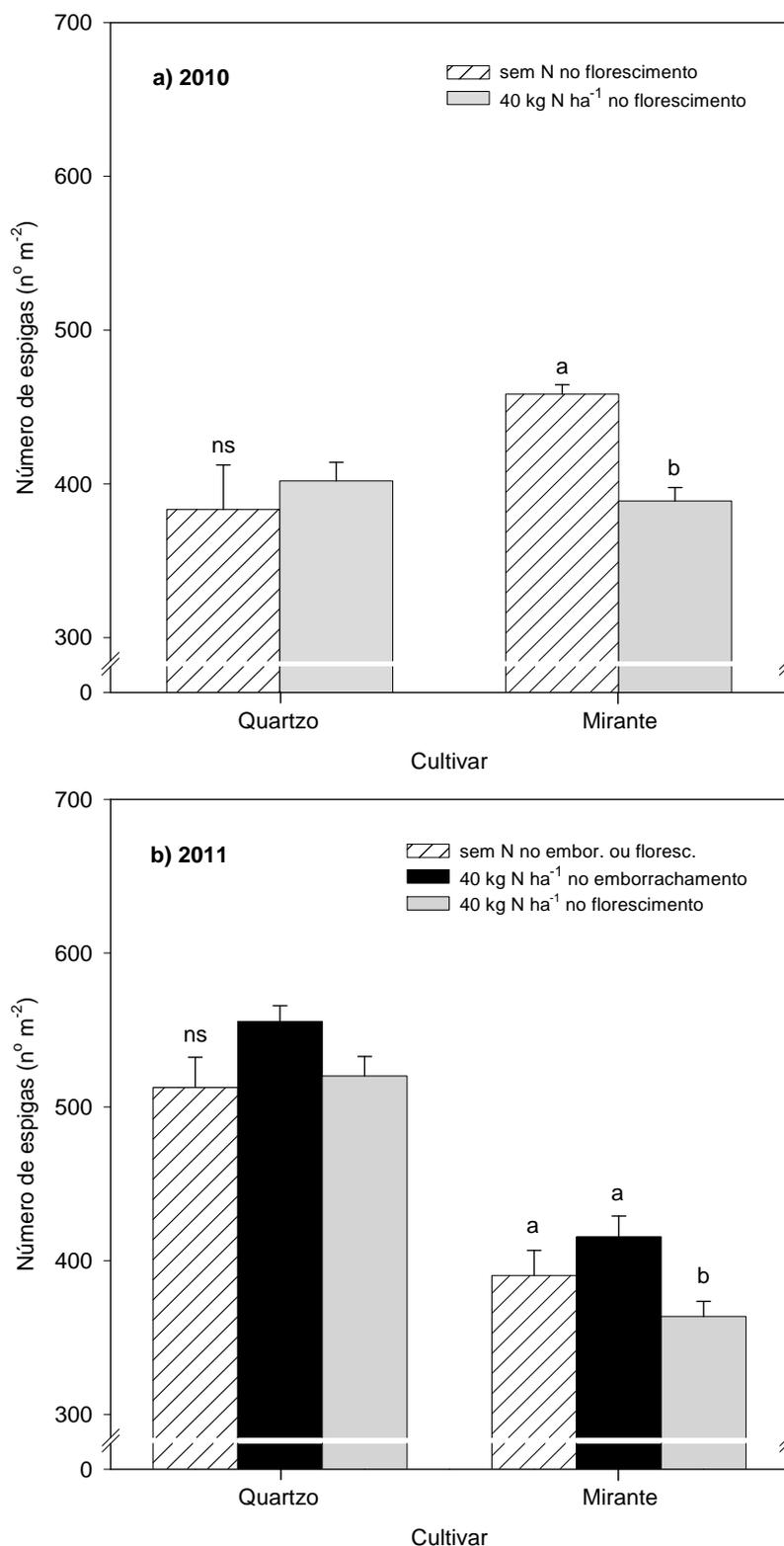


FIGURA 6. Número de espigas m⁻² das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.

O componente do rendimento número de grãos espiga⁻¹ não apresentou diferença significativa entre os tratamentos para as duas cultivares, nos dois anos de estudo (Figuras 7.a e 7.b).

No ano de 2011 na cultivar Quartzo, apesar de não apresentar diferença estatística significativa entre os componentes do rendimento de grãos do tratamento que recebeu N no período do emborrachamento e do tratamento que recebeu N no florescimento, todos os componentes de rendimento apresentaram maior resposta quando o N foi fornecido no período de emborrachamento. Assim, o aumento no rendimento de grãos proporcionado por esta aplicação em 2011 foi devido a maior resposta conjunta de todos os componentes de rendimento (Figura 4.b). Já na cultivar Mirante, todos os componentes do rendimento de grãos também apresentaram maior resposta para aplicação no período do emborrachamento, em comparação ao tratamento que recebeu aplicação de N no florescimento, mas o número de espigas m⁻² foi o único que apresentou diferença estatística significativa entre estes tratamentos, sendo assim o que mais influenciou o rendimento de grãos (Figura 4.b).

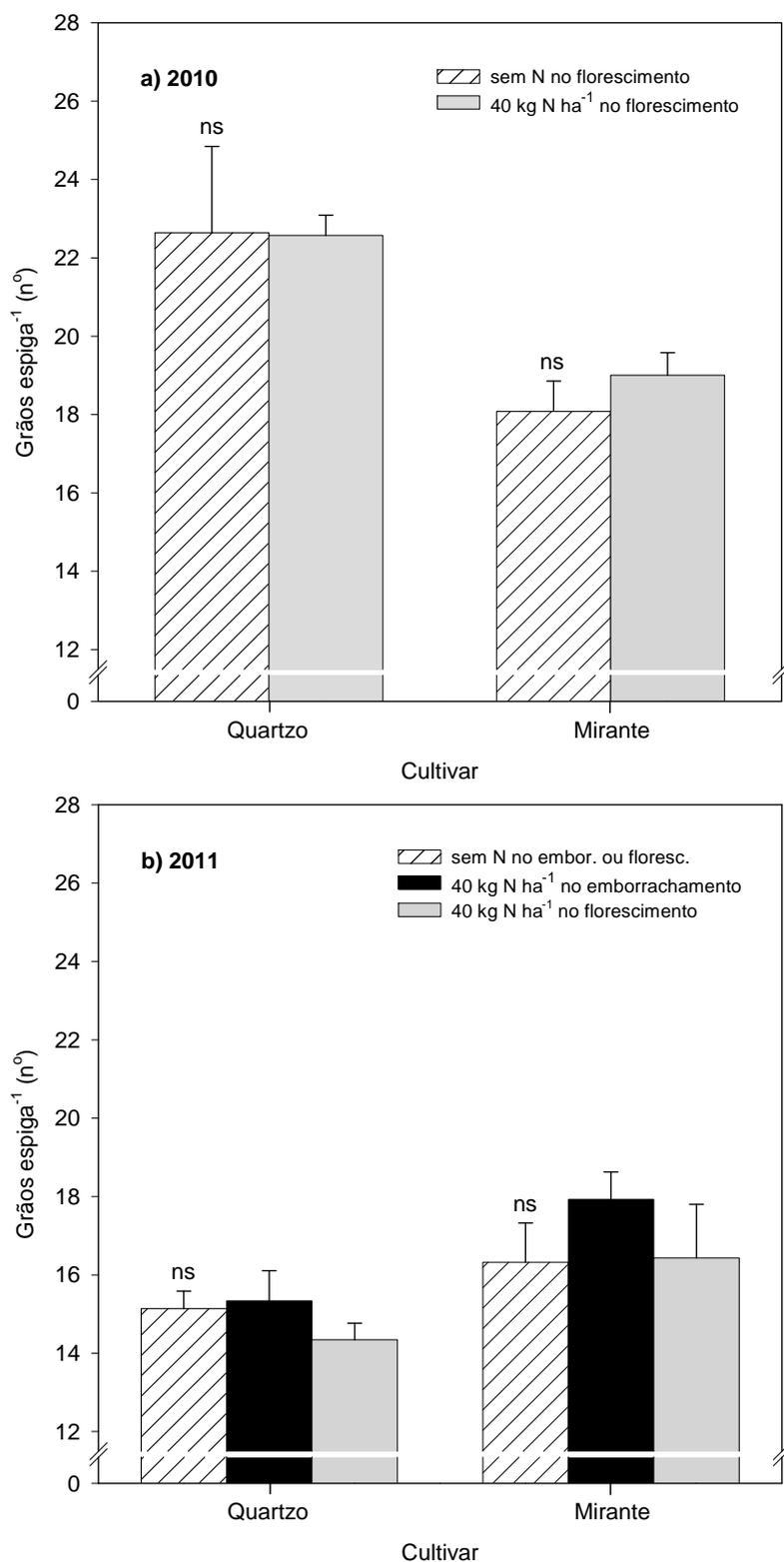


FIGURA 7. Número de grãos espiga⁻¹ das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.

A alta radiação solar em 2011 a partir do mês de setembro (Figura 3.b), e a temperatura do ar abaixo da média histórica (Figura 3.a), podem estar associada á resposta da aplicação de N por ocasião do emborrachamento em relação ao rendimento de grãos ocorrida neste ano, para as duas cultivares.

As temperaturas do ar abaixo da média histórica do local favoreceram a fotossíntese (Figura 3.a). O trigo tem crescimento e desenvolvimento apropriado com temperaturas do ar na faixa de 10 a 24°C. A fotossíntese é um dos processos mais afetados pela alta temperatura, pois diminuiu sensivelmente quando as temperaturas alcançam 28-29°C e também, a partir destas temperaturas, a respiração continua incrementando até cerca de 40°C. Assim, acima de 28-30°C, a planta, além de não incorporar CO₂ pela fotossíntese, ainda perde carbono pela respiração (Mundstock, 1999).

No experimento realizado em 2011 foi avaliada a variação do teor de clorofila na folha bandeira da cultivar Quartzo nos diferentes tratamentos (Figura 8). A primeira medição com o clorofilômetro foi realizada no dia 06 de outubro, sendo que a aplicação de N por ocasião do estágio de emborrachamento da cultura havia ocorrido no dia 29 de setembro. Isso explica porque o tratamento que recebeu aplicação de N por ocasião do emborrachamento, apresentou maior valor da leitura do clorofilômetro no momento da primeira medição (06/10), ou seja, a aplicação de N no emborrachamento proporcionou incremento no teor de clorofila nos tecidos, detectado pelos maiores valores de leitura do clorofilômetro.

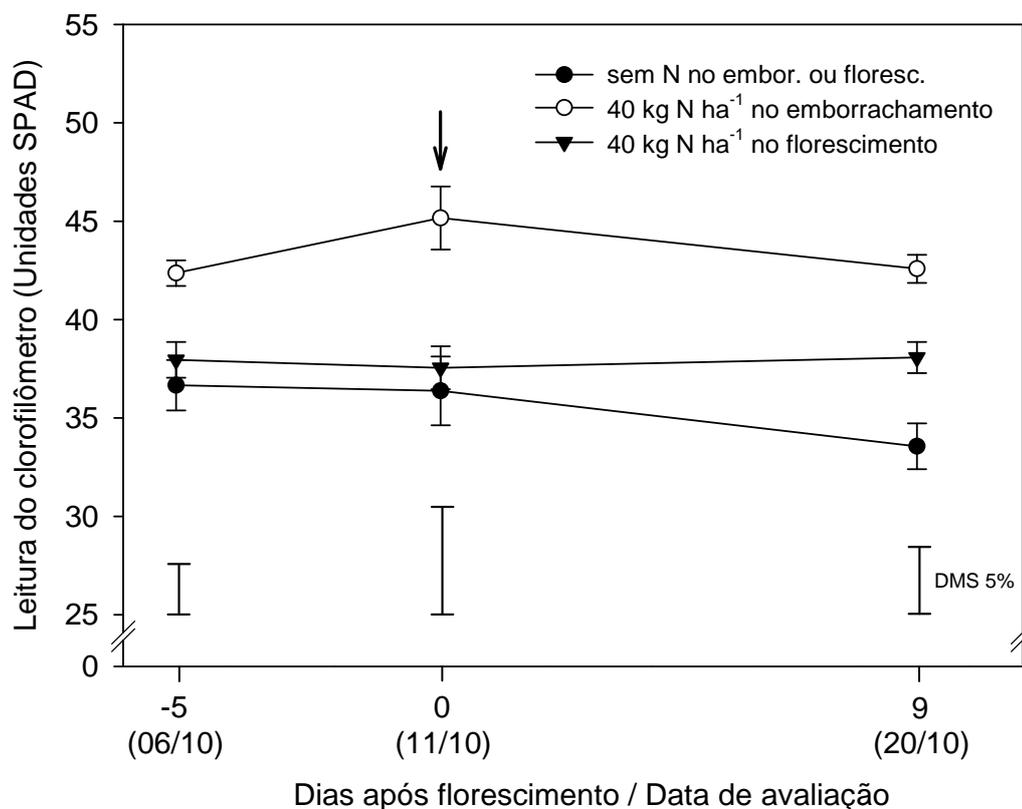


FIGURA 8. Variação dos valores de leitura do clorofilômetro entre espigamento (06/10) e início do enchimento de grãos (20/10) na cultivar de trigo Quartzo em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento. A seta indica o momento de aplicação de N no florescimento. Eldorado do Sul, RS, 2011.

A utilização deste instrumento, que mede o teor relativo de clorofila na folha, está fundamentada na relação existente entre teor de N e teor de clorofila na folha e na relação destes parâmetros com o rendimento de grãos (Rambo, 2008). Como pode ser observado na Figura 8 para teor de clorofila na folha, o comportamento do tratamento que não recebeu N tardio e o tratamento que recebeu N no florescimento foi semelhante até a medição realizada no dia 11 de outubro, quando foi aplicado o N por ocasião do florescimento. A partir desta data, o tratamento que não recebeu N neste momento reduziu o teor de clorofila na

folha. Já o tratamento em que se aplicou N no período de florescimento apresentou o teor de clorofila estabilizado até a próxima leitura (9 dias depois), indicando que esta aplicação manteve a folha bandeira verde por um período maior. Desse modo, as condições meteorológicas favoráveis no ano de 2011, juntamente com o aumento no teor de clorofila no tratamento que recebeu N no estágio de emborrachamento, proporcionaram condições favoráveis ao incremento de rendimento de grãos neste ano de cultivo.

A avaliação das propriedades óticas das folhas, tais como transmitância, reflectância e fluorescência, são formas indiretas de avaliar o estado nutricional de uma cultura. A reflectância do dossel foi avaliada no ano de 2010 pelo radiômetro óptico ativo Greenseeker. Este equipamento fornece o valor do “índice de vegetação por diferença normalizada” (NDVI). As leituras com o sensor Greenseeker foram realizadas entre o início do emborrachamento e o enchimento de grãos da cultura. A variação nos valores do NDVI ao longo deste período de desenvolvimento está apresentada na Figura 9 para as cultivares Quartzo (Figura 9.a) e Mirante (Figura 9.b).

A adubação nitrogenada no florescimento foi realizada no dia 05 de outubro e, a partir da medição realizada no dia 08 de outubro, o dossel começou a apresentar comportamento diferenciado entre os tratamentos, apesar de não apresentar diferença estatística. Na cultivar Quartzo, as leituras de NDVI realizadas no tratamento sem N no florescimento diminuíram significativamente na leitura realizada no dia 15 de outubro em relação ao tratamento que recebeu N neste estágio (Figura 9.a).

Na cultivar Mirante, os dois tratamentos (com ou sem aplicação de N no florescimento) reduziram os valores de NDVI a partir do florescimento (Figura 9.b), não ocorrendo diferença significativa entre estes.

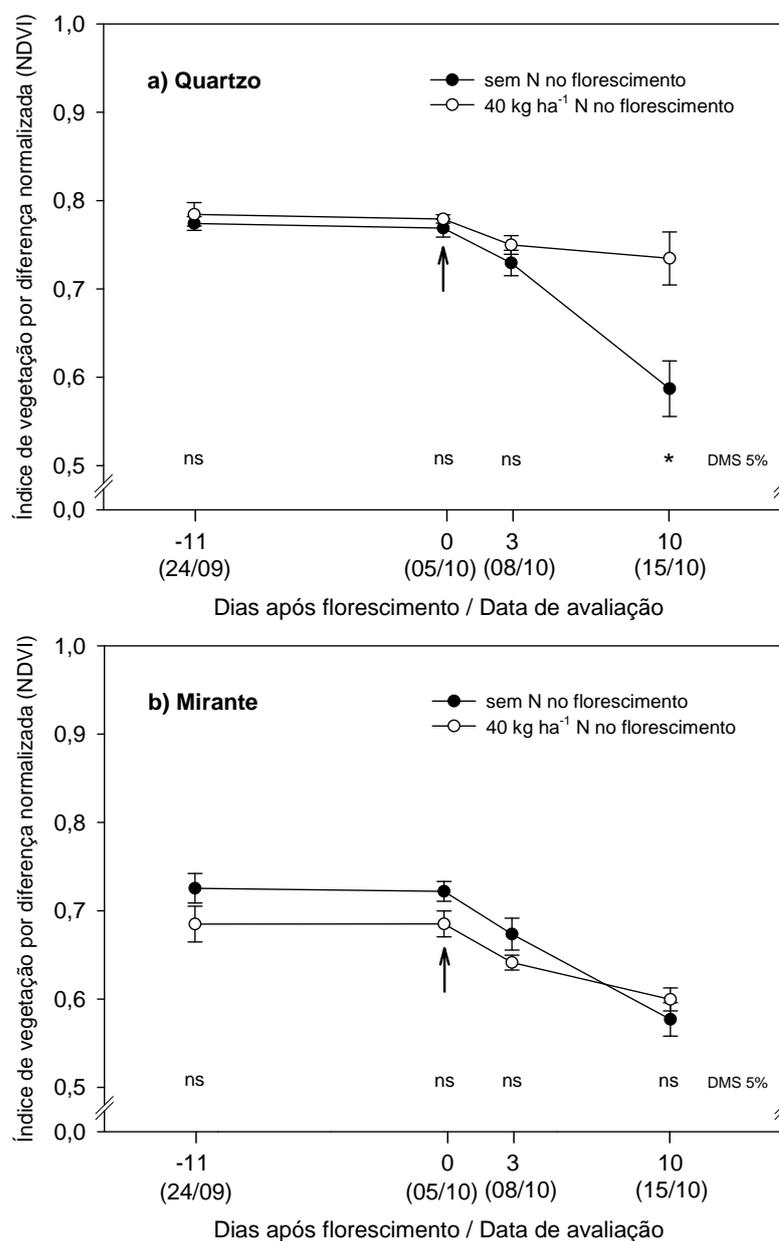


FIGURA 9. Variação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) entre o emborrachamento (24/09) e início do enchimento de grãos (15/10) nas cultivares de trigo Quartzo (a) e Mirante (b), em função da aplicação de nitrogênio no estágio de florescimento. A seta indica o momento de aplicação de N. Eldorado do Sul, RS, 2010.

As variações do NDVI durante o ciclo da cultura ocorrem em função do acúmulo de biomassa na parte aérea durante o período vegetativo (Grohs, 2008) e do maior acúmulo de N nos tecidos em função da aplicação de doses crescentes de fertilizante nitrogenado (Wright, 2004). A maior disponibilidade de nitrogênio aumenta o acúmulo de biomassa e a quantidade de moléculas de clorofila nas folhas. Quanto maior o acúmulo de biomassa fotossinteticamente ativa, maior é a reflectância da energia incidente na porção do infravermelho próximo (IVP) do espectro e menor é a reflectância no intervalo de comprimento de onda correspondente ao vermelho (V), havendo aumento da razão IVP/V (Rizzi, 2004) e, em consequência, aumento do valor do NDVI.

No ano de 2010, por meio das medições do NDVI utilizando sensor óptico ativo, e no ano de 2011, por meio da leitura do clorofilômetro, foi possível observar que a aplicação de N por ocasião do florescimento proporcionou permanência das folhas verdes por período mais longo de tempo, favorecendo, desta maneira, o aumento do peso de 1000 grãos, em comparação ao tratamento que não recebeu N neste estágio (Figura 5.a e 5.b). Por ocasião do enchimento de grãos, a área foliar verde tem grande importância como tecido fotossinteticamente ativo, podendo proporcionar maior partição de fotoassimilados para serem translocados aos grãos em formação (Silva *et al.*, 2004).

O rendimento de grãos em trigo pode ser estimado pelos seus componentes, os quais, por sua vez, são definidos em pré-antese (número de plantas área^{-1} , número de espigas m^{-2} e número de grãos espiga^{-1}) e em pós-antese (peso do grão). Todos os componentes do rendimento de grãos de trigo podem se beneficiar em maior ou menor grau da adubação nitrogenada, com exceção da população de plantas, a qual é influenciada por fatores como

densidade de semeadura, qualidade de semente e condição física do solo (Lamothe *et al.*, 2006).

O rendimento de grãos está muito relacionado às doses de nitrogênio que a cultura recebe na base (semeadura) e em cobertura, sendo a aplicação desse nutriente fator fundamental para incremento de produtividade. Entre os componentes do rendimento, os principais a definirem o rendimento de grãos são o número de espigas m^{-2} , que é definido pela densidade de semeadura e, principalmente, pela sobrevivência dos afilhos emitidos, e o número de grãos espiga⁻¹, definido na diferenciação floral do meristema apical.

O suprimento de N para as plantas de trigo nos períodos em que o potencial de rendimento de grãos está sendo estabelecido é fundamental para promover elevada produtividade, sendo que os componentes de rendimento de grãos, como o número de espigas por área e o número de espiguetas por espiga, sofrem forte influência pela variação do momento em que o nitrogênio é fornecido (Braz *et al.*, 2006).

O nitrogênio deve ser fornecido às plantas de trigo preferencialmente entre a emergência e a emissão da 7ª folha do colmo principal. No início deste período, existe alta exigência de N para estabelecer o número de espiguetas diferenciadas e, conseqüentemente, o número de grãos por espiga. Na época da emissão da sétima folha do colmo principal, o fornecimento de nitrogênio é crítico para determinar a sobrevivência de maior número de colmos e, assim, potencializar o número de espigas por área (Bredemeier & Mundstock, 2001). Sendo assim, em relação à adubação nitrogenada, as adubações de base e cobertura (estádio de 6-7 folhas completamente expandidas) são as principais formadoras do potencial produtivo em trigo.

Em alguns casos, a aplicação tardia de N, após o início do alongamento dos entrenós, pode aumentar a massa do grão, em função da manutenção da área foliar ativa por um período mais longo (McMaster, 1997), conforme mostram os resultados das avaliações do teor de clorofila (Figura 8) e da reflectância do dossel (Figura 9), podendo resultar em incrementos no rendimento de grãos (Bredemeier & Mundstock, 2001).

A aplicação de N em trigo em estádios mais tardios (emborrachamento ou florescimento) do que os estádios normalmente indicados tem sido estudada para se observar o efeito desta aplicação sobre o rendimento de grãos e a qualidade tecnológica dos grãos.

Em relação ao rendimento de grãos, os resultados reportados na literatura tem sido variáveis. Garrido-Lestache *et al.* (2004), em condições mediterrâneas, ao realizarem experimento durante três anos, aplicando dose de 150 kg N ha⁻¹ (1/3 na semeadura, 1/3 no período de perfilhamento e 1/3 na alongação do colmo), verificaram variação no rendimento de grãos durante os anos de cultivo devido às variações meteorológicas. Neste mesmo estudo, foi realizada a aplicação de 25 kg N ha⁻¹ por ocasião da emergência da espiga (espigamento), não sendo verificada resposta do rendimento de grãos em nenhum dos anos de estudo. Yano *et al.* (2005) aplicaram 40 kg N ha⁻¹ na semeadura e 50 kg N ha⁻¹ no estádio de emborrachamento e, igualmente, não observaram incremento no rendimento de grãos com aplicação de N neste último estádio. Por outro lado, Abedi *et al.* (2011) utilizaram dose de 120 kg N ha⁻¹, parcelada em doses iguais na semeadura, perfilhamento e na alongação do colmo ou parcelada na semeadura, perfilhamento e no enchimento de grãos, verificando resposta

significativa de incremento do rendimento de grãos em função da aplicação de N por ocasião do enchimento de grãos.

Assim, a resposta do rendimento de grãos e seus componentes (especialmente peso de 1000 grãos) a aplicações tardias de N pode ser variável entre experimentos e anos, uma vez que o rendimento de grãos e a resposta à aplicação de N sofrem forte influência da dose e da época de aplicação de N, das condições meteorológicas, da cultivar, do local de cultivo e da cultura antecessora.

O peso de 1000 grãos apresenta forte controle genético mas, em menor grau, também pode ser influenciado pelas condições de cultivo e manejo pós-colheita dos grãos (Ortolan, 2006), sendo que este componente do rendimento de grãos pode ser significativamente influenciado por aplicações tardias de N entre os estádios de emborrachamento e enchimento de grãos (Yano *et al.*, 2005; Varga & Svecnjak, 2006; Abedi *et al.*, 2011).

Este componente não apresenta importância somente na formação do rendimento de grãos. O peso do grão influencia o processo industrial, pois grãos de tamanho excessivo podem causar problemas nos equipamentos de limpeza e moagem, enquanto que grãos muito pequenos podem passar pelas peneiras de limpeza e acarretar em perdas na produção de farinha, em função da diminuição da quantidade de trigo moído. Segundo Guarienti (1996), o ideal é que os grãos sejam de tamanho médio, apresentando peso de 1000 grãos entre 36 e 45 g.

O peso de 1000 grãos da cultivar Quartzô variou entre 36,6 g (no ano de 2010 sem aplicação de N nos estádios tardios estudados) e 41,8 g (no ano de 2011, com aplicação de N no emborrachamento). Já a cultivar Mirante apresentou variação do peso do grão entre 39,5 g (no tratamento que não recebeu aplicação

tardia de N, nos dois anos) e 43,5 g (em 2011, com aplicação de N no estágio de emborrachamento) (Figuras 5.a e 5.b). Mesmo com o aumento do peso do grão proporcionado pelas aplicações tardias de N, o peso de 1000 grãos das duas cultivares, nos dois anos de cultivo, se manteve em valor considerado médio e adequado para o seu processamento industrial (Guarienti, 1996).

4.3 Peso do hectolitro (PH)

No Brasil, os grãos de trigo são classificados em tipos e classes. A classificação por tipo é determinada por meio do limite mínimo do peso do hectolitro (peso de 100 litros de grãos) e dos limites máximos dos percentuais de umidade, matérias estranhas e impurezas e de grãos avariados. Sendo assim, o peso do hectolitro (PH) do trigo é uma propriedade que apresenta grande importância na comercialização do produto, uma vez que os preços praticados consideram este parâmetro como um indicativo de qualidade e rendimento na extração de farinha (Corrêa *et al.*, 2006).

Os resultados do peso do hectolitro das cultivares Quartzo e Mirante nos anos de 2010 e 2011 são mostrados nas Figuras 10.a (2010) e 10.b (2011). Nos dois anos de estudo e para os dois genótipos utilizados, houve diferença significativa entre os tratamentos que receberam aplicação de N nos estádios de emborrachamento ou florescimento e o tratamento que não recebeu aplicação adicional de N nestes estádios. No ano de 2010 (Figura 10.a), o PH dos grãos da cultivar Quartzo aumentou de 77,2 kg hL⁻¹ para 80,0 kg hL⁻¹ em função da aplicação de N no estádio de florescimento. Em 2011, o PH desta cultivar aumentou de 76,9 kg hL⁻¹ para 78,9 kg hL⁻¹ (com aplicação adicional de N no florescimento) e 79,2 kg hL⁻¹ (com aplicação de N no emborrachamento).

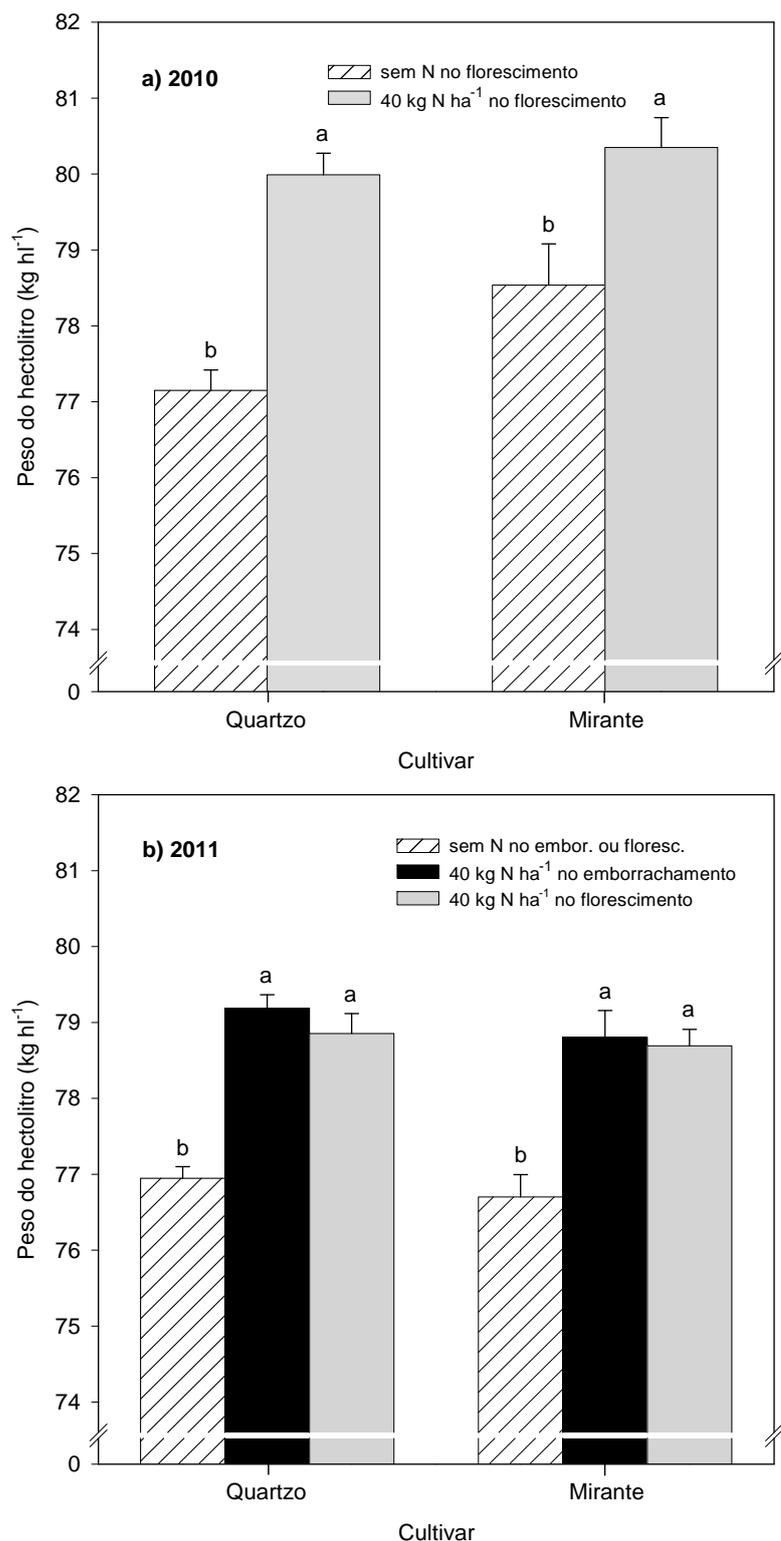


FIGURA 10. Peso do hectolitro das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.

Nos dois anos de estudo, o aumento no peso do hectolitro proporcionado pela aplicação de N nos estádios mais tardios (emborrachamento ou florescimento) foi de grande importância, pois o trigo teria sua classificação alterada de “Tipo 2” para “Tipo 1”, considerando somente o valor de PH (Brasil 2001; Brasil, 2010).

Para cultivar Mirante, no ano de 2010, o PH aumentou de 78,5 kg hL⁻¹ para 80,3 kg hL⁻¹ quando houve aplicação de N por ocasião do florescimento. Em 2011, sem aplicação de N nos períodos mais tardios, esta cultivar apresentou PH de 76,7 kg hL⁻¹, porém, quando foi aplicado N por ocasião do emborrachamento ou do florescimento da cultura, o PH aumentou para, aproximadamente, 78,7 kg hL⁻¹. Para as duas cultivares, os grãos teriam sua classificação alterada de “Tipo 2” para “Tipo 1”, segundo normativa n° 7 (Brasil,2001) e normativa n° 38 (Brasil, 2010), sendo que, para a cultivar Mirante, isto ocorreu somente no ano de 2011.

Os tratamentos que receberam aplicação adicional de N por ocasião do emborrachamento ou do florescimento, independentemente de cultivar e ano de cultivo, apresentaram resultados superiores de peso do hectolitro em relação aos tratamentos que não receberam N nestes períodos (Figuras 10.a e 10.b). Este aumento no peso do hectolitro é importante, pois este parâmetro é utilizado na comercialização de grãos, uma vez que, na prática, o valor pago ao produtor é menor quando o peso hectolítrico se apresenta abaixo de 78 kg hL⁻¹ (Trindade *et al.*, 2006).

Aplicações de altas doses de N na semeadura até o estágio de perfilhamento das plantas tendem a diminuir o peso hectolítrico (Frizzone *et al.*, 1996; Trindade *et al.*, 2006; Prando *et al.*, 2012). Isto pode ocorrer devido ao

aumento no número de grãos por unidade de área, uma vez que maior adubação nitrogenada neste período do desenvolvimento pode proporcionar diferenciação de maior número de espiguetas na espiga e, em consequência, maior número de grãos por inflorescência, promovendo, desta maneira, maior competição entre os grãos por fotoassimilados durante o período de seu enchimento (Trindade *et al.*, 2006).

As aplicações de nitrogênio por ocasião do emborrachamento ou do florescimento do trigo pouco influenciam o número de grãos por espiga em trigo, uma vez que, nestes estádios, o número de espiguetas diferenciadas na inflorescência já está estabelecido. Varga & Svecnjak (2006) realizaram experimento com seis cultivares de trigo e duas doses de N aplicadas durante o período de crescimento vegetativo da cultura (67 kg N ha^{-1} , considerada baixa, e 194 kg N ha^{-1} , considerada alta). Adicionalmente, cada tratamento recebeu ou não aplicação adicional de 30 kg N ha^{-1} por ocasião do florescimento (aplicação foliar). A adubação foliar com N no florescimento aumentou o peso do hectolitro, em comparação ao tratamento que não recebeu esta aplicação adicional de N, somente na dose de N considerada baixa.

O aumento do peso do hectolitro observado com a aplicação tardia de N a partir do estágio de emborrachamento (Figuras 10.a e 10.b) pode estar ligado à melhor formação do grão proporcionada pela sua maior massa (Figuras 5.a e 5.b), pois o peso do hectolitro representa, além da quantidade de reservas em relação às camadas envolventes do grão, também a eficiência de acomodação dos grânulos de amido e proteínas nas células do endosperma (Mundstock, 1999).

4.4 Teor de glúten

O teor de glúten (glúten seco e úmido) expressa a medida quantitativa do glúten, ou seja, das proteínas formadoras do glúten, as quais são responsáveis pela força e qualidade das farinhas (Ortolan, 2006). Os resultados do teor de glúten úmido estão apresentados nas Figuras 11.a e 11.b e os valores de glúten seco nas Figuras 12.a e 12.b.

Para as duas cultivares, nos dois anos de estudo, as aplicações tardias de N no emborrachamento ou florescimento da cultura aumentaram significativamente o conteúdo de glúten (Figuras 11 e 12). No ano de 2010, para a cultivar Quartzo, a aplicação de N no estágio de florescimento aumentou o teor de glúten úmido de 17,8% para 29,3% (Figura 11.a) e do teor de glúten seco de 6,2% para 10,3% (Figura 12.a). Para a cultivar Mirante, o teor de glúten úmido foi de 18,1% e o de glúten seco de 5,9% quando não foi realizada aplicação adicional de N no florescimento. Por outro lado, quando foi fornecido N neste estágio, o teor de glúten úmido aumentou significativamente para 27,9% (Figura 11.a), enquanto que o teor de glúten seco aumentou para 9,9% (Figura 12.a).

No ano de 2011, as duas cultivares apresentaram valores superiores de glúten úmido em relação ao ano de 2010. A cultivar Mirante apresentou 21,7% de glúten úmido (Figura 11.b) e 7,0% de glúten seco (Figura 12.b) quando não foi aplicado N adicional por ocasião do florescimento. Já quando foi fornecido N neste estágio, o teor de glúten úmido aumentou para 33% (Figura 11.b) e o de glúten seco para 13,3% (Figura 12.b). Os maiores valores de teor de glúten foram verificados na cultivar Quartzo, sendo o teor de glúten úmido de 22,3% e o de glúten seco de 7,7% quando não foi fornecido N em períodos tardios (emborrachamento ou florescimento). Além disso, o teor de glúten úmido

aumentou para 35% e 38,5% quando foi aplicado N no emborrachamento ou florescimento, respectivamente (Figura 11.b). Já o teor de glúten seco aumentou para 10,8% e 12,6% quando ocorreu suplementação de N por ocasião do emborrachamento ou florescimento da cultura, respectivamente (Figura 12.b).

Os resultados observados no presente trabalho corroboram com os encontrados por Abedi *et al.* (2011), os quais também encontraram teores de glúten mais baixos quando não foi realizada aplicação de N no período de enchimento de grãos.

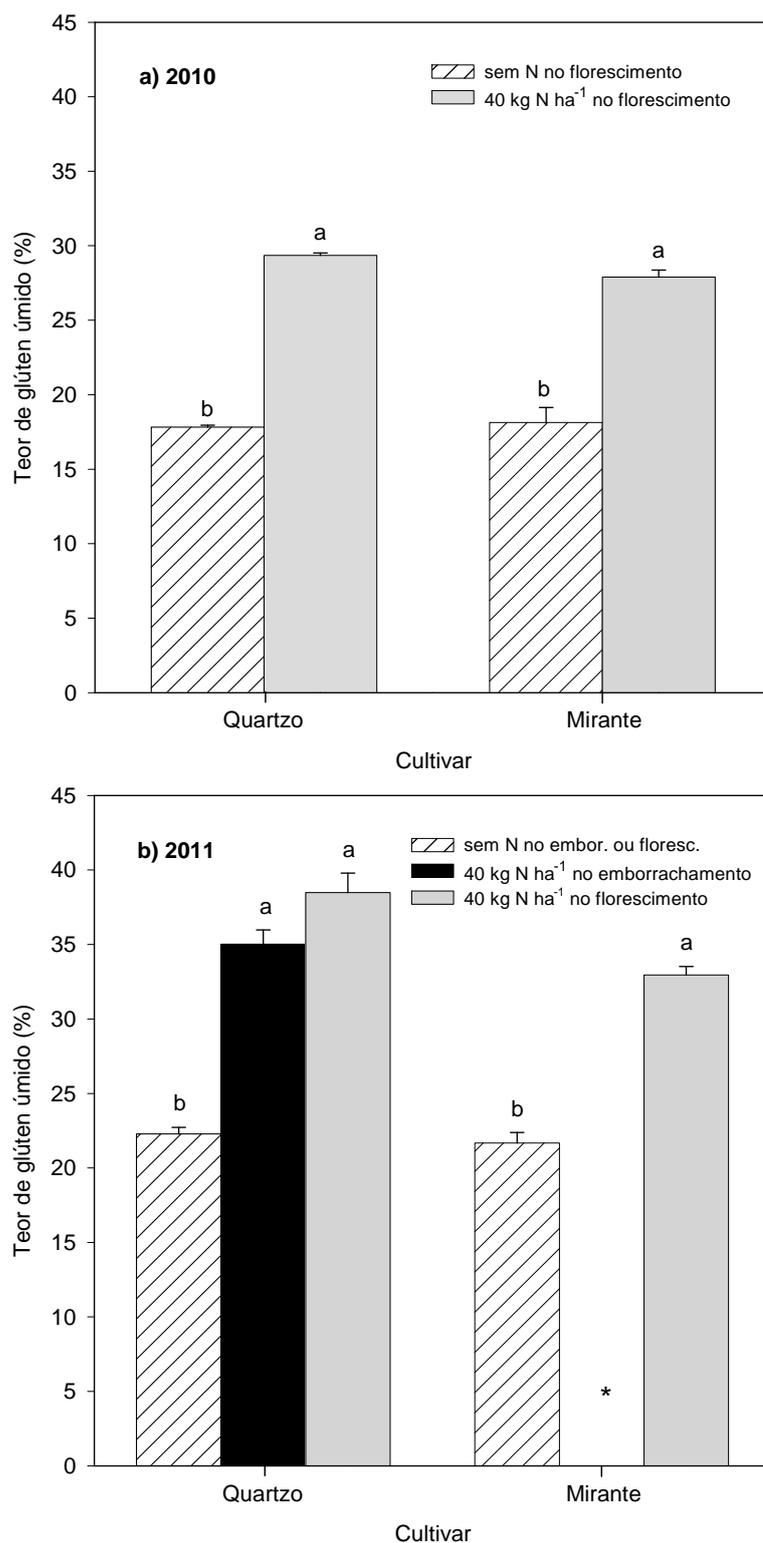


FIGURA 11. Teor de glúten úmido das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. * não avaliado. Eldorado do Sul, RS.

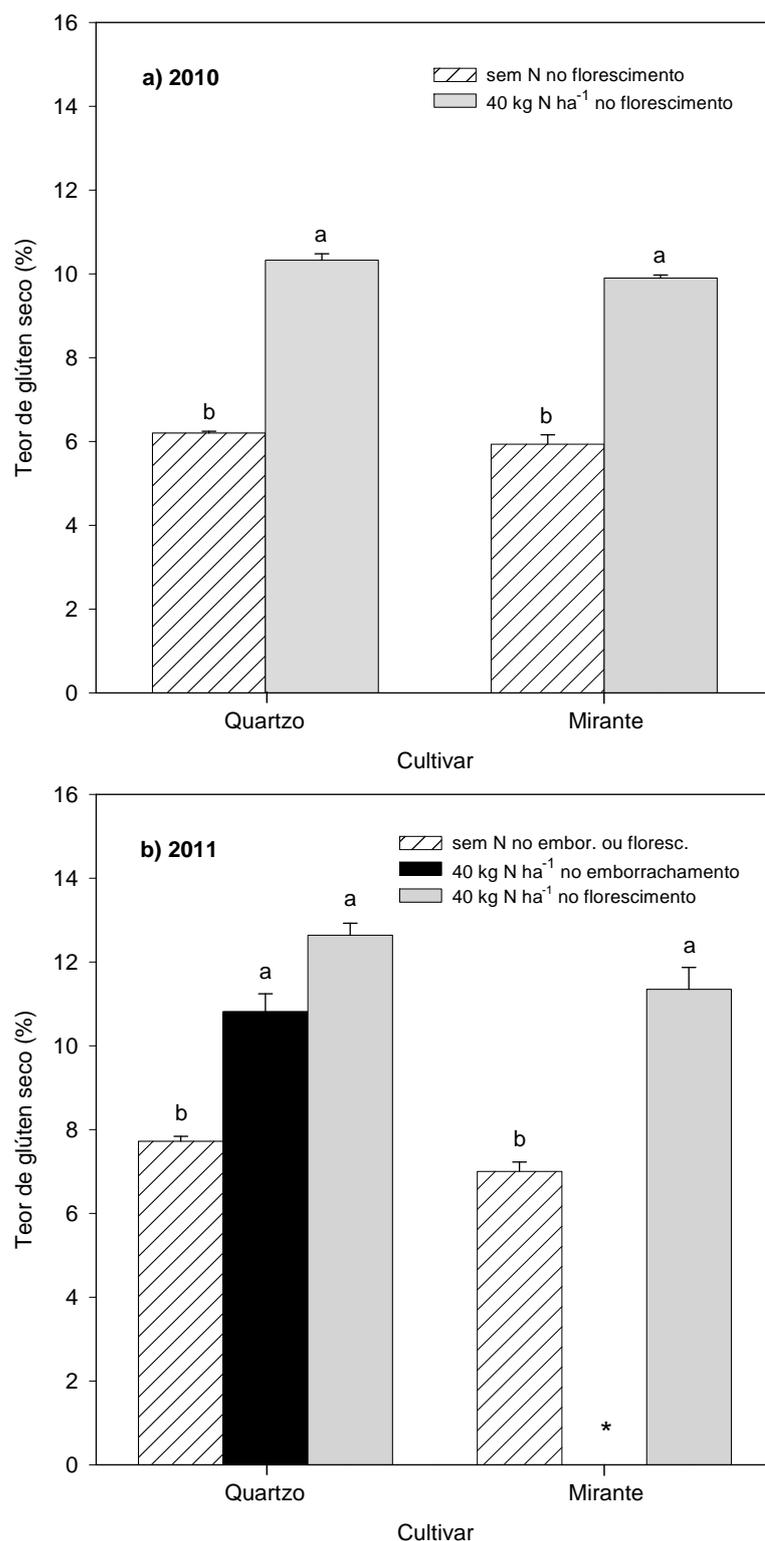


FIGURA 12. Teor de glúten seco das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. * não avaliado. Eldorado do Sul, RS.

De maneira geral, o teor de glúten está relacionado ao conteúdo de proteína do grão. Contudo, as características de qualidade tecnológica dos grãos de trigo estão relacionadas tanto com o conteúdo de proteína quanto com a qualidade do glúten (Grant *et al.*, 2004). A aplicação tardia de N nos estádios próximos ao florescimento da cultura pode resultar em incrementos nos teores de glúten, uma vez que as proteínas formadoras de glúten (gluteninas e gliadinas) são definidas como proteínas que se acumulam durante o estágio de enchimento de grãos da cultura (Shewry & Halford, 2002). Johansson *et al.* (2001) verificaram que o aumento no número de aplicações de N em cobertura influenciou os componentes proteicos do glúten gliadinas e gluteninas e não albuminas e globulinas, que são proteínas integrantes dos grãos de trigo, porém não são formadoras de glúten.

4.5 Número de queda (*Falling number*)

O número de queda é um importante teste realizado para avaliar a atividade da enzima alfa-amilase nos grãos de trigo, a qual está ligada à qualidade de panificação. Quando a massa (mistura da farinha com água) apresenta número de queda muito baixo, isto representa que existe alta atividade da enzima alfa-amilase nos grãos. A alta atividade dessa enzima produz uma massa de textura pegajosa, imprópria para produção de pães. O número de queda é um dos parâmetros utilizados na classificação do trigo, tanto na normativa que vigora até 01 de julho de 2012 (Brasil, 2001), como também na normativa que entrará em vigor a partir desta data (Brasil, 2010).

Nas Figuras 13.a e 13.b são apresentados os resultados obtidos em relação ao número de queda nos anos de 2010 e 2011, respectivamente.

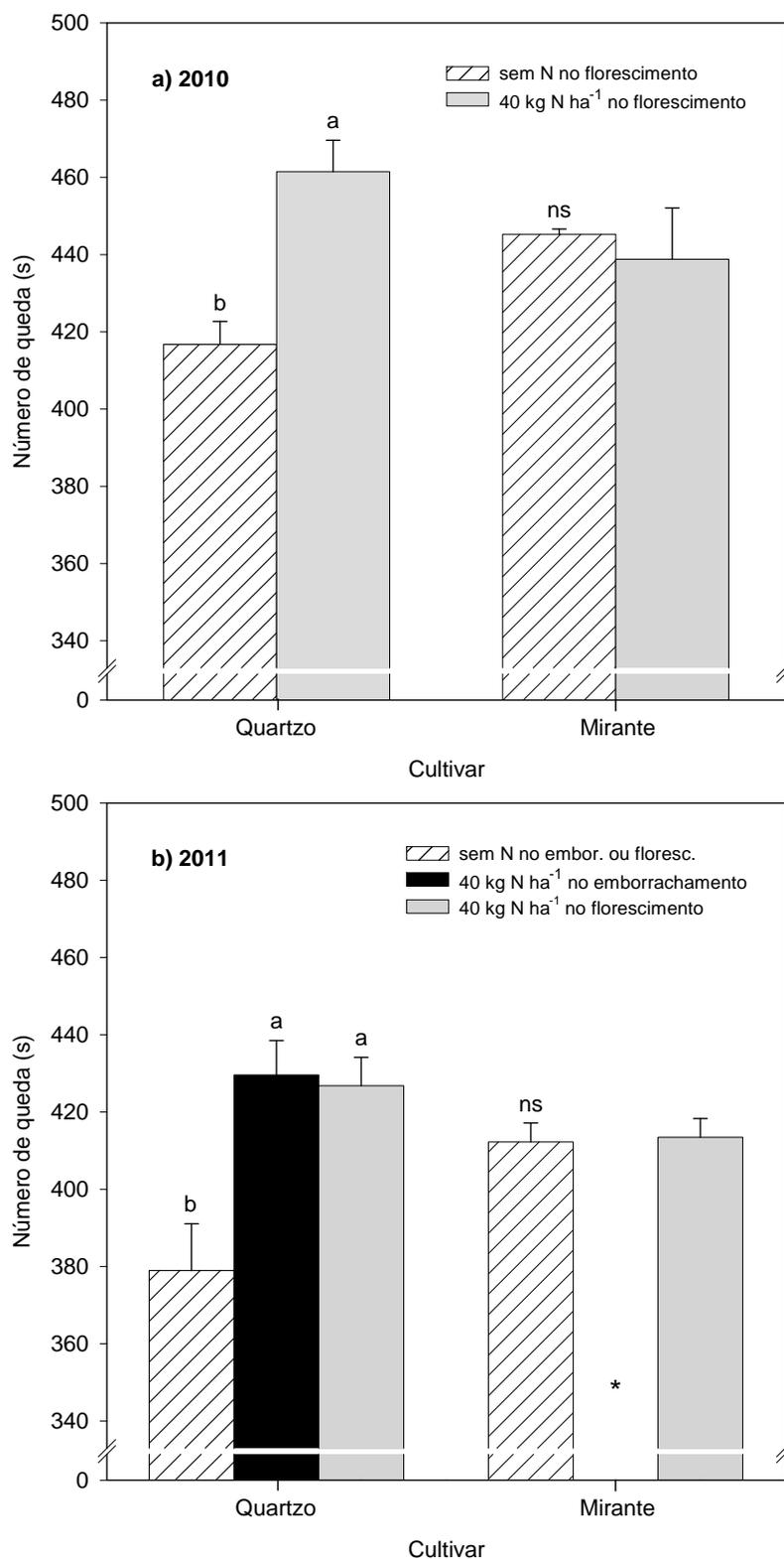


FIGURA 13. Número de queda das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. * não avaliado. Eldorado do Sul, RS.

As duas cultivares apresentaram comportamento distinto para o número de queda em relação à aplicação tardia de N. A cultivar quartzo apresentou aumento significativo do número de queda quando foi fornecido N no florescimento ou emborrachamento, nos dois anos de estudo, quando comparado ao tratamento no qual não foi fornecido N nestes estádios (Figuras 13.a e 13.b). Já na cultivar Mirante o número de queda não foi afetado pela aplicação de N por ocasião do florescimento da cultura (Figuras 13.a e 13.b).

As duas cultivares apresentaram elevados valores para número de queda nos dois anos de cultivo. Este comportamento pode estar relacionado às condições meteorológicas favoráveis no final do ciclo da cultura nos dois anos, pois, apesar de ter ocorrido alto volume de precipitação pluvial próximo à colheita em 2010 (Figura 2.a), a chuva se concentrou em dois apenas dias e, possivelmente, não tenha afetado a qualidade dos grãos.

Alta precipitação pluvial próxima à colheita é um dos principais fatores que afeta a qualidade do grão, sendo o fator que mais influencia o número de queda, pois a germinação do grão ainda na espiga aumenta a atividade da enzima alfa-amilase, reduzindo o número de queda. Este efeito não é desejado pela indústria de panificação, devido a influência que esta característica tem, principalmente, sobre a textura interna e o volume do pão. Chuvas excessivas e flutuações de temperatura durante a maturação do grão causam a quebra da dormência das sementes e desencadeia o processo de germinação pré-colheita (Rodrigues *et al.*, 2010b).

Nos dois anos estudados e para as duas cultivares, o número de queda variou entre 379 e 461 segundos (Figuras 13.a e 13.b). Desta forma, tanto na normativa nº 7 (Brasil, 2001) quanto na normativa nº38 (Brasil, 2010), as

cultivares apresentaram número de queda suficiente para serem enquadradas na classe “melhorador”. A classe “melhorador” é a que tem maior exigência em todos os parâmetros e, para ser classificada nesta classe, a cultivar de trigo deve apresentar número de queda superior a 250 segundos (Brasil, 2001; Brasil, 2010).

O pão fabricado a partir de farinha de trigo que apresenta número de queda de 200 a 350 segundos (faixa de atividade enzimática ideal para panificação), apresenta miolo firme, com grande volume e textura macia. Já pães elaborados a partir de farinha que apresenta número de queda menor que 200 segundos (o que indica alta atividade enzimática) ou maior que 350 segundos (baixa atividade enzimática) apresentam volume reduzido e características internas e externas indesejáveis (Gutkoski *et al.*, 2008). Segundo Guarienti (1996), a baixa atividade enzimática não representa um problema de difícil solução, pois, geralmente, os produtos reforçadores ou melhoradores utilizados no processo de panificação possuem em sua fórmula enzimas amilásicas fúngicas, objetivando a correção dessa deficiência na farinha de trigo.

O efeito da maior disponibilidade de N nos estádios de emborrachamento e florescimento sobre o aumento do número de queda pode estar relacionado a diferentes mecanismos. A maior disponibilidade de N pode atrasar a maturação dos grãos e incrementar sua dormência, reduzindo o risco de germinação pré-colheita dos grãos ainda na espiga (Kindred *et al.*, 2005), cuja ocorrência é associada geralmente a baixos valores de número de queda (Rodrigues *et al.*, 2010b), em função do aumento na quantidade de enzima alfa-amilase produzida nos grãos.

O aumento na disponibilidade de N pode reduzir a atividade da enzima alfa-amilase no grão, na ausência de germinação pré-colheita (Kettlewel &

Cooper, 1993; Kettlewel, 1999). Esta resposta pode ser decorrente do efeito da maior disponibilidade de nitrogênio no retardamento da senescência das folhas, atrasando a maturação dos grãos e evitando quebra imediata da dormência e, em consequência, germinação dos grãos na inflorescência, o que resultaria em redução nos valores de número de queda (Kettlewel & Cooper, 1993; Rodrigues *et al.*, 2010b). A síntese precoce de alfa-amilase nos grãos em maturação, que ocorre em caso de deficiência de N, pode resultar na iniciação do processo de germinação pré-colheita dos grãos (Rodrigues *et al.*, 2010b).

O efeito da maior disponibilidade de nitrogênio sobre o aumento no número de queda pode também estar relacionado ao efeito morfológico proporcionado pelo enchimento mais completo do grão, reduzindo o tamanho da cavidade ventral e a probabilidade de ruptura entre o endosperma e a testa no grão (Kindred *et al.*, 2005). Como consequência, ocorreria redução na quantidade de alfa-amilase produzida nesta região.

4.6 Teor de proteína no grão

Nos dois anos de estudo e para as duas cultivares utilizadas (Quartzo e Mirante), o teor de proteína aumentou em função da aplicação de N por ocasião dos estádios de emborrachamento ou florescimento, em comparação aos tratamentos sem aplicação de N nestes estádios (Figuras 14.a e 14.b).

No ano de 2010, a cultivar Quartzo apresentou teor de proteína de 10,5% quando não houve aplicação de N no estágio de florescimento, sendo que a aplicação de N neste período promoveu aumento para 12,9% no teor de proteína (Figura 14.a). O mesmo comportamento foi verificado com a cultivar de trigo Mirante, na qual o teor de proteína aumentou de 9,3% para 11,7% em função da aplicação de N no estágio de florescimento da cultura (Figura 14.a).

Já em 2011, a variação no teor de proteína foi maior. No caso da cultivar Quartzo, foi observado aumento de 10,7% para 14% no teor de proteína quando as plantas receberam N por ocasião do emborrachamento ou florescimento da cultura (Figura 14.b). A cultivar Mirante, por outro lado, apresentou teor de proteína de 10,5% quando não foi fornecido N nos estádios tardios, sendo que o teor de proteína aumentou para 13% e 12,3% quando ocorreu aplicação adicional de N nos estádios de emborrachamento ou florescimento da cultura, respectivamente (Figura 14.b).

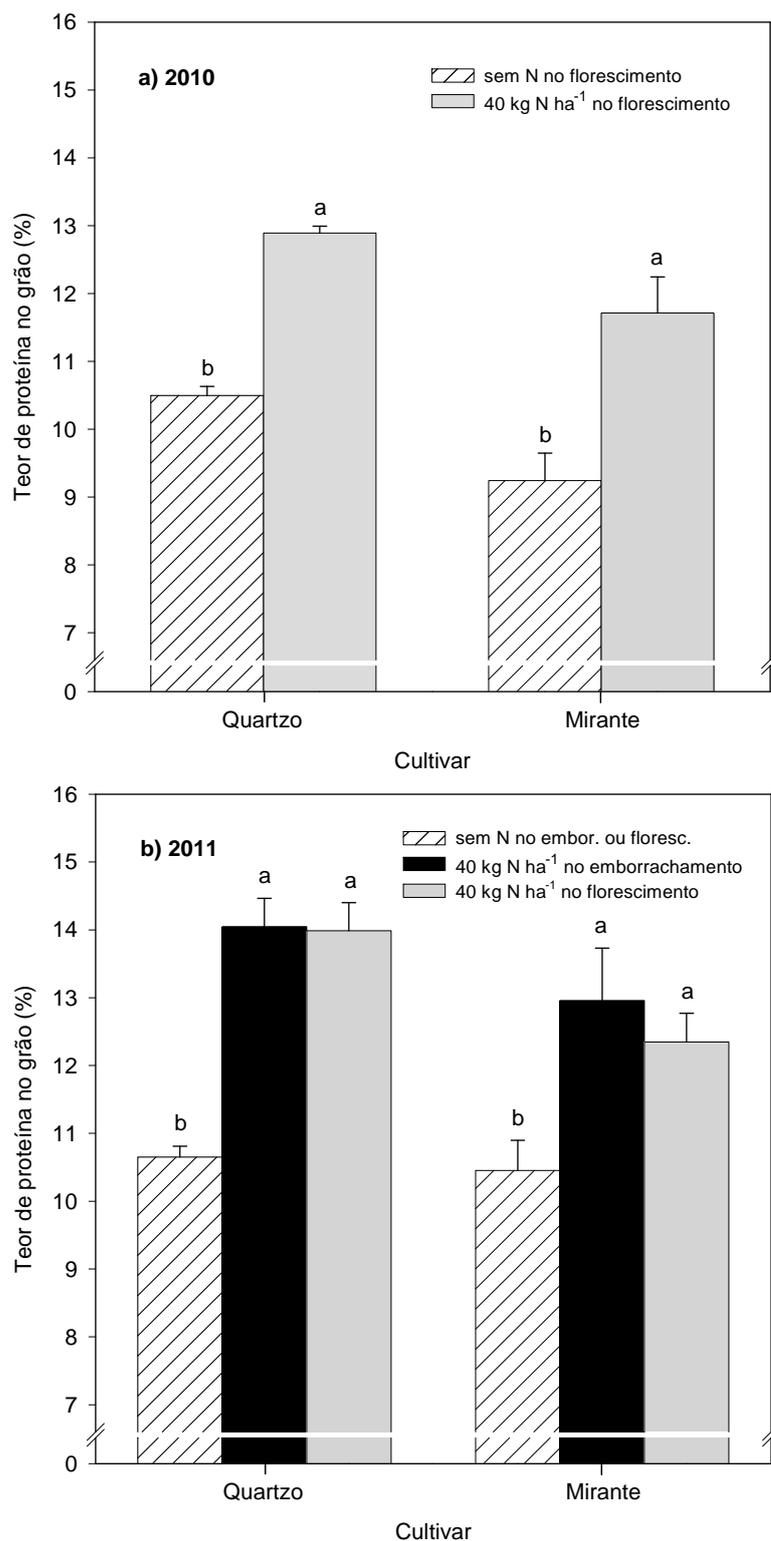


FIGURA 14. Teor de proteína no grão das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.

A síntese e o acúmulo de proteínas em resposta à disponibilidade de N são fortemente dependentes de fatores genéticos, variando entre espécies. Dentro da mesma espécie, existem variações entre genótipos e, considerando o limite genético, a quantidade de proteína produzida é muito influenciada por fatores nutricionais e, principalmente, pela adubação nitrogenada (Rodrigues *et al.*, 2010c). Baixos conteúdos de proteína nos grãos de trigo são verificados normalmente quando o solo apresenta baixa fertilidade e baixa disponibilidade de N em estádios posteriores ao estágio de primeiro nó visível na planta (início da alongação dos entrenós). Desse modo, é necessário que o fornecimento de N permita o desenvolvimento satisfatório da planta e promova adequado acúmulo de proteínas no grão (Franceschi *et al.*, 2009).

A divisão da quantidade total de N a ser aplicada em maior número de aplicações tem sido considerada como estratégia para aumentar a concentração de N nos grãos (Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2011). Desta maneira, aplicações tardias de N para aumento do teor de proteína e para melhoria da qualidade de grãos tem sido objeto de estudo de trabalhos de pesquisa. Garrido-Lestache *et al.* (2004) verificaram aumento no teor de proteína em grãos de trigo em três anos de estudo, em função da aplicação foliar de ureia por ocasião da emergência da espiga (espigamento).

Existem duas fontes de N para os grãos, ou seja, o N armazenado em partes vegetativas da planta até a antese e a absorção de N diretamente do solo após a antese (absorvido durante o enchimento de grãos) (Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2010). Segundo Rodrigues *et al.* (2010c), aproximadamente dois terços do N acumulado nos grãos de trigo são provenientes da translocação deste nutriente das partes vegetativas, o qual foi assimilado antes da antese e,

aproximadamente, um terço de N acumulado é assimilado durante o período de enchimento de grãos. O N absorvido desde o início do espigamento (emergência da inflorescência) contribui principalmente para o incremento do teor de proteína do grão (Lamonthe, 2006). Desse modo, é provável que a aplicação de N no estágio de emborrachamento tenha aumentado a quantidade de N armazenado nas partes vegetativas e incrementado o teor de clorofila nas folhas, conforme foi verificado por meio das leituras realizadas com clorofilômetro portátil no ano de 2011 (Figura 8). Já as aplicações de N no florescimento podem ter contribuído, principalmente, com a assimilação de N durante o período de enchimento de grãos.

O aumento no rendimento de grãos pode reduzir a qualidade do trigo para panificação, uma vez que, em situação de elevada produtividade (elevado número de grãos por unidade de área), pode ocorrer a diluição da proteína entre os grãos formados. Portanto, a gestão adequada da fertilização nitrogenada é essencial para assegurar produção de trigo de alta qualidade (Abedi *et al.*, 2011).

No presente estudo, o aumento no rendimento de grãos proporcionado pela aplicação de N por ocasião do emborrachamento no ano de 2011 não diminuiu o teor de proteína (Figura 14.b). Isto pode ter ocorrido pelo fato dos rendimentos alcançados não terem sido altos suficientes para influenciar o teor de proteína e ocorrer este efeito de diluição ou porque a disponibilidade de N foi alta nos estádios em que a planta exigia, incrementando tanto o rendimento de grãos quanto a concentração de proteína no grão (Rodrigues *et al.*, 2010c).

4.7 Força de glúten (W)

A força de glúten da massa (W) é avaliada por meio do teste reológico de alveografia, o qual avalia a força ou o trabalho mecânico necessário para expandir uma massa de trigo (Embrapa, 2012). Nas Figuras 15.a e 15.b são apresentados os valores de força de glúten (W) das cultivares Quartzo e Mirante nos anos 2010 e 2011, respectivamente.

No ano de 2010, a força de glúten foi de, aproximadamente, $130 \times 10^{-4} \text{J}$ quando não foi realizada adubação nitrogenada por ocasião do florescimento da cultura, para as duas cultivares (Figura 15.a). Por outro lado, quando foi realizada adubação com N no estágio de florescimento, a força de glúten aumentou significativamente, atingindo valores entre 260 e $300 \times 10^{-4} \text{J}$ (Figura 15.a).

No caso da cultivar Quartzo, este aumento na força de glúten proporcionado pela aplicação de N no florescimento da cultura alterou a classificação comercial destes grãos (classe). Os grãos do tratamento que não recebeu aplicação de N no florescimento, seriam classificados como “brando” na Normativa nº 7 (Brasil, 2001) e como “doméstico” pela normativa nº 38 (Brasil, 2010). Por outro lado, os grãos resultantes do tratamento que recebeu suplementação de N por ocasião do florescimento passariam a ser enquadrados na classificação trigo “melhorador”, pois, segundo estas normativas, um dos requisitos para classificar o trigo como “melhorador” é que o valor de W (força de glúten) seja maior que $300 \times 10^{-4} \text{J}$ (Brasil, 2001; Brasil, 2010). Para ambas normativas, os grãos do tratamento que recebeu aplicação de N adicional por ocasião do florescimento, seriam enquadrados em classe superior, considerando o parâmetro força de glúten (W) isoladamente.

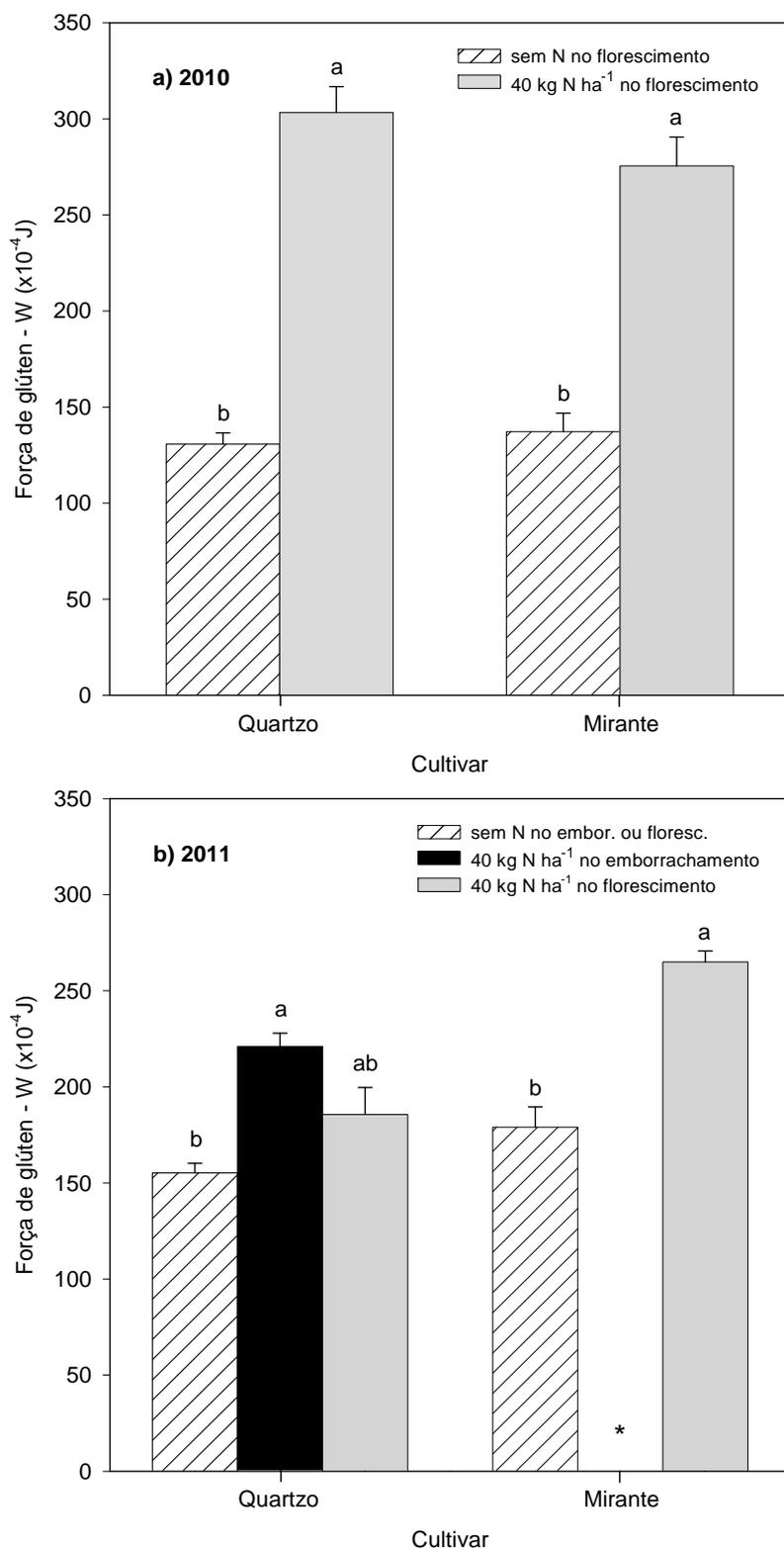


FIGURA 15. Força de glúten (W) das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. * não avaliado. Eldorado do Sul, RS.

No experimento conduzido em 2011, a força de glúten apresentou menor variação. Sem aplicação de N no estágio de florescimento, os grãos da cultivar Quartzo apresentaram valor de W igual a $155 \times 10^{-4} \text{J}$. Por outro lado, quando foi fornecido N no florescimento, o valor de W aumentou para $186 \times 10^{-4} \text{J}$ (Figura 15.b). Pela Normativa nº 7 (Brasil, 2001), a qual está em vigência até julho de 2012, os grãos de trigo do tratamento que recebeu aplicação de N por ocasião do florescimento seriam classificados na classe “pão”, em contrapartida aos grãos que não receberam N neste estágio, os quais seriam classificados em classe inferior, ou seja, classe “brando”.

Já pela Normativa nº 38 (Brasil, 2010), o qual entrará em vigor em julho de 2012, os grãos de trigo do tratamento que recebeu N no período de florescimento, apesar de apresentarem maior valor de força de glúten (W) em comparação ao tratamento que não recebeu N no florescimento, não seriam enquadrados em classe superior, sendo classificados na classe “doméstico”. Para ser classificado como trigo “pão” é necessário apresentar valor de W igual ou superior a $220 \times 10^{-4} \text{J}$ (Brasil 2010).

Em 2011, o melhor resultado para força de glúten foi observado no tratamento que recebeu aplicação de N por ocasião do estágio de emborrachamento, apresentando valor de W de $221 \times 10^{-4} \text{J}$, sendo classificado como “pão” nas duas normativas.

Esta diferença observada entre os dois anos de estudo, no caso da cultivar Quartzo e para o tratamento que recebeu N no florescimento, pode estar relacionada ao período de tempo no qual as amostras de grãos de trigo permaneceram armazenadas. As amostras de grãos do experimento realizado em 2010 foram armazenadas em sacos de papel em câmara fria na Estação

Experimental Agronômica/UFRGS (Eldorado do Sul, RS) sob temperatura do ar de 10°C, por período aproximado de um ano antes de serem encaminhadas para realização do teste reológico de alveografia. Por outro lado, as amostras oriundas do experimento de 2011 foram armazenadas após a colheita sob condições de câmara fria por curto período de tempo (cerca de 10 dias), sendo então encaminhadas para realização das análises de qualidade. Esta diferença no período de armazenamento pode ter influenciado a magnitude das respostas da força de glúten em relação à aplicação tardia de N nos dois anos estudados.

Carneiro *et al.* (2005) avaliaram a variação na força de glúten (W) de grãos de trigo armazenados durante um período de oito meses e verificaram que, durante o armazenamento, a força de glúten (W) aumentou. Neste caso, a melhor qualidade da farinha de grãos de trigo armazenados pode estar relacionada com modificações bioquímicas que ocorrem nos grãos durante o armazenamento. Gutkoski *et al.* (2008) avaliaram o efeito do armazenamento durante período de 90 dias sobre as características reológicas de grãos de trigo. Neste trabalho, nas avaliações feitas logo na colheita, os genótipos de trigo BRS 179, Fundacep 21 e Rubi foram classificados, em função da força de glúten, nas classes “brando”, “brando” e “pão”, respectivamente, conforme Normativa nº 7 (Brasil, 2001). Após o período de 90 dias de armazenamento, o teste de alveografia foi repetido, sendo que estas cultivares foram classificadas, segundo os valores de W, como “pão”, “pão” e “melhorador”, respectivamente.

Estes autores sugeriram que o trigo não deve ser comercializado logo após a colheita dos grãos, pois estes podem apresentar melhoria na classe comercial durante o armazenamento, sendo indicado um período de, no mínimo, 60 dias de maturação. Deliberali *et al.* (2010) observaram incremento da força de glúten (W)

nos grãos até o oitavo mês de armazenamento após a colheita e redução da força de glúten aos 12 meses de armazenamento. Em contrapartida, Mezei *et al.* (2007) avaliaram quatro genótipos de trigo durante 129 dias de armazenamento, sendo que, em todos os genótipos, foi observado decréscimo entre 20 e 40% nos valores de força de glúten (W).

Diferentes genótipos de trigo podem apresentar comportamento distinto em relação à influência do tempo de armazenamento sobre a qualidade tecnológica da farinha (Pirozzi & Germani, 1998). Um mecanismo que ocorre durante o armazenamento dos grãos é que os grupos tióis (-SH) presentes na proteína do trigo sofrem oxidação, favorecendo a formação de pontes dissulfídicas, que fortalecem o glúten e aumentam a capacidade elástica (elasticidade) da massa. Essa oxidação seria promovida pelo oxigênio atmosférico e/ou pela presença de ácidos graxos livres, os quais, durante o período de armazenamento, tem sua concentração aumentada (Pirozzi & Germani, 1998).

A cultivar Mirante apresentou o mesmo comportamento nos dois anos de estudo (Figuras 15.a e 15.b). Quando não foi fornecido N no período de florescimento no ano de 2010, o valor de W foi de $137 \times 10^{-4} \text{J}$ e, no ano de 2011, de $179 \times 10^{-4} \text{J}$, sendo classificada como “brando”, segundo Normativa n° 7 (Brasil, 2001), e como “doméstico”, na nova normativa n° 38 (Brasil, 2010). Já quando houve a aplicação de N por ocasião do florescimento, o valor de W aumentou para $275 \times 10^{-4} \text{J}$, em 2010, e para $265 \times 10^{-4} \text{J}$, em 2011. Nos dois anos, os grãos do tratamento que recebeu aplicação adicional de N no estágio de florescimento seriam classificados na classe “pão”, segundo as duas normativas, ou seja, os grãos seriam classificados em classe superior, em comparação aos

grãos do tratamento que não recebeu aplicação de N no florescimento (Figuras 15.a e 15.b).

Esses resultados corroboram com os resultados de Fuertes-Mendizábal *et al.* (2010), que verificaram aumento de 83% na força de glúten quando a dose de 140 kg de N ha⁻¹ foi parcelada em três aplicações. Aplicações de N realizadas no início do espigamento também aumentaram o teor de proteína do grão e da força de glúten (W) em experimentos realizados durante três anos por Garrido-Lestache *et al.* (2004).

4.8 Tenacidade (Valor P), extensibilidade (Valor L) e relação P/L

Os valores de tenacidade (P) encontrados para as cultivares Quartzo e Mirante nos anos de 2010 e 2011 estão nas Figuras 16.a e 16.b., respectivamente.

No ano de 2010, a cultivar Quartzo apresentou incremento nos valores de P (tenacidade da massa) quando foi fornecido N no estágio de florescimento, sendo que o valor de P aumentou de 98,8 mm para 112 mm, quando se compara os tratamentos sem ou com aplicação de N no florescimento (Figura 16.a). Já no ano de 2011 (Figura 16.b), o valor mais baixo de P para a cultivar Quartzo foi observado no tratamento que recebeu aplicação adicional de N no florescimento, enquanto que o valor mais elevado foi verificado quando foi aplicado N por ocasião do emborrachamento da cultura. Desse modo, observa-se que a resposta dos valores de tenacidade da massa (Valor P) para a cultivar Quartzo em função da aplicação de N variou conforme o ano de estudo.

No caso da cultivar Mirante, por outro lado, não foi observada diferença significativa entre os diferentes tratamentos, nos dois anos de estudo (Figuras 16.a e 16.b).

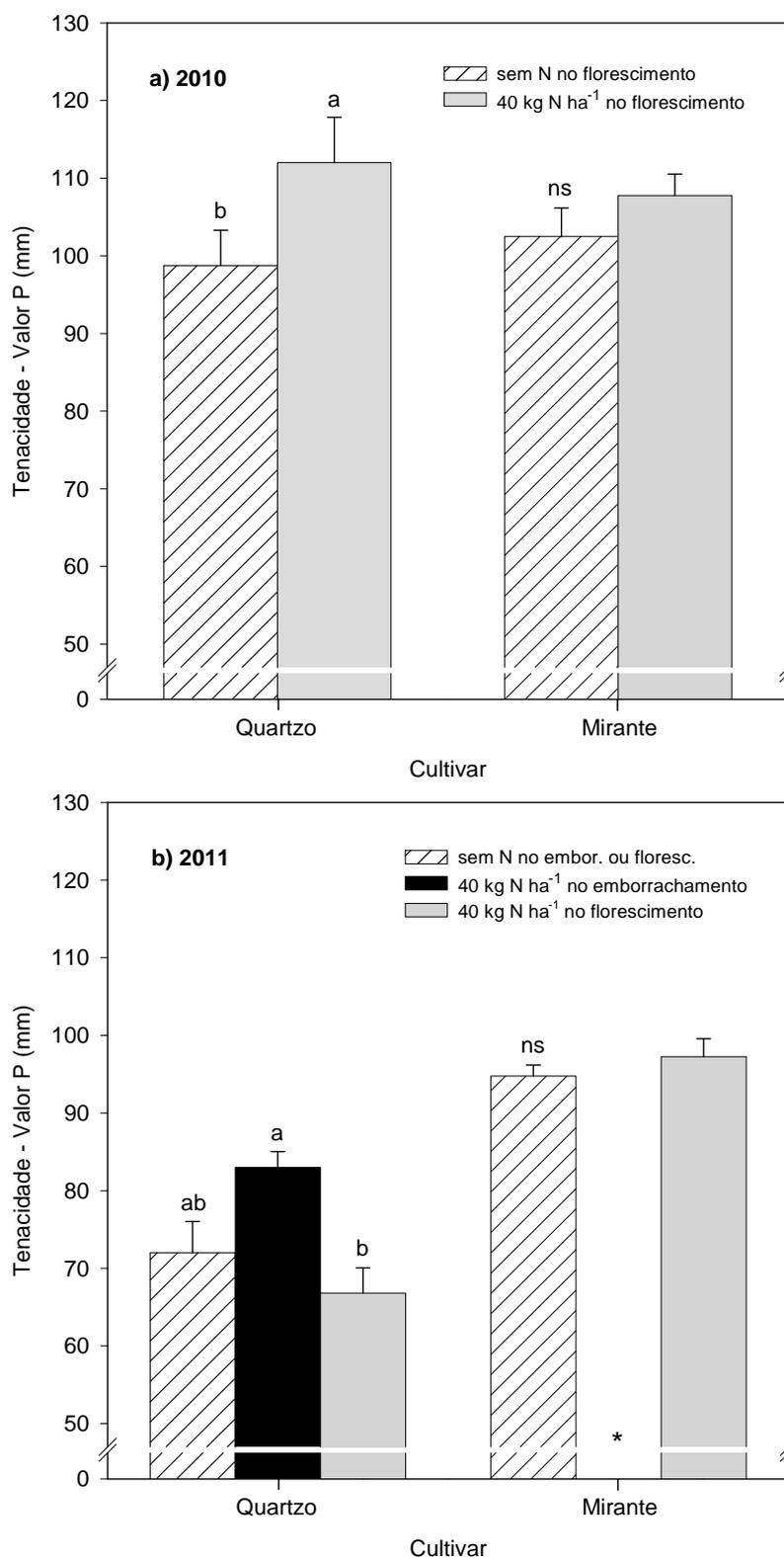


FIGURA 16. Tenacidade (Valor P) das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. * não avaliado. Eldorado do Sul, RS.

Em relação ao parâmetro extensibilidade da massa (valor L), as duas cultivares analisadas apresentaram resposta semelhante, conforme mostrado nas Figuras 17.a e 17.b. No ano de 2010, tanto a cultivar Quartzo como a cultivar Mirante apresentaram acréscimo significativo nos valores de L (extensibilidade da massa) quando foi aplicado N no estágio de florescimento (Figura 17.a). A cultivar Quartzo apresentou aumento de, aproximadamente, 120% no valor de L quando foi aplicado N no florescimento, em comparação ao tratamento que não recebeu aplicação de N neste momento. Na cultivar Mirante, o aumento foi de, aproximadamente, 110% no valor de L em função da aplicação de N por ocasião do florescimento.

Em 2011, tanto a aplicação de N no estágio de emborrachamento quanto no florescimento aumentou significativamente os valores de L (extensibilidade), nas duas cultivares, em comparação ao tratamento sem aplicação adicional de N nestes estádios (Figura 17.b). No caso da cultivar Quartzo, não houve diferença significativa entre as duas épocas de aplicação testadas (emborrachamento ou florescimento). A cultivar Quartzo apresentou aumento de, aproximadamente, 45% no valor de L quando foi aplicado N no emborrachamento ou florescimento, em comparação ao tratamento que não recebeu aplicação de N neste momento. Na cultivar Mirante, o aumento foi de, aproximadamente, 60% no valor de L em função da aplicação de N por ocasião do florescimento.

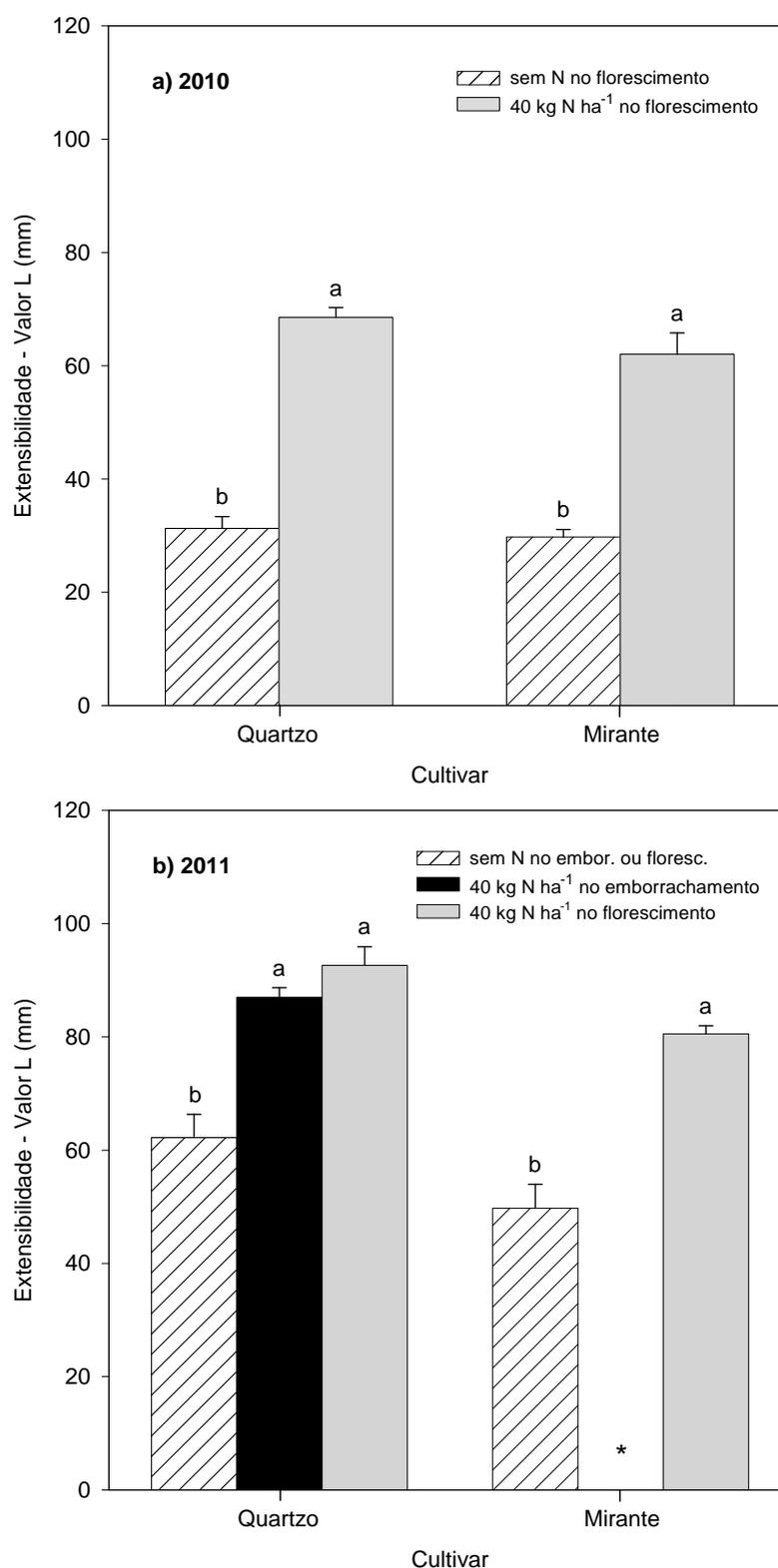


FIGURA 17. Extensibilidade (Valor L) das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. * não avaliado. Eldorado do Sul, RS.

Os valores da relação P/L (tenacidade/extensibilidade) também foram afetados pela aplicação de N por ocasião dos estádios de emborrachamento ou florescimento da cultura (Figura 18).

Os valores ideais da relação P/L para fins de panificação artesanal variam entre 1,2 e 2,0 e, para panificação industrial, variam entre 0,8 e 1,5 (Reunião..., 2011). No ano de 2010, os valores da relação P/L observados sem aplicação de N no florescimento foram de 3,2 para a cultivar Quartzo e de 3,4 para a cultivar Mirante (Figura 18.a). Portanto, estes valores estavam acima dos valores considerados ideais para panificação.

A aplicação de N no estágio de florescimento promoveu reduziu nos valores da relação P/L nas duas cultivares. A cultivar Quartzo apresentou valor da relação P/L de 1,65 e a cultivar Mirante de 1,75 (Figura 18.a) em função da aplicação de N no florescimento da cultura, ou seja, a relação P/L no ano de 2010 foi favorecida pela aplicação tardia de N, uma vez que esta aplicação aproximou os valores da relação P/L aos valores ideais (Reunião..., 2011).

No ano de 2011, os valores da relação P/L, quando não foi aplicado N nos estádios de emborrachamento ou florescimento, apresentaram-se enquadrados nos valores ideais para panificação nas duas cultivares (Figura 18.b). A cultivar Quartzo apresentou menor relação P/L quando foi fornecido N no estágio de florescimento, enquanto que, na cultivar Mirante, o valor desta relação não foi afetado significativamente pela aplicação de N por ocasião do florescimento.

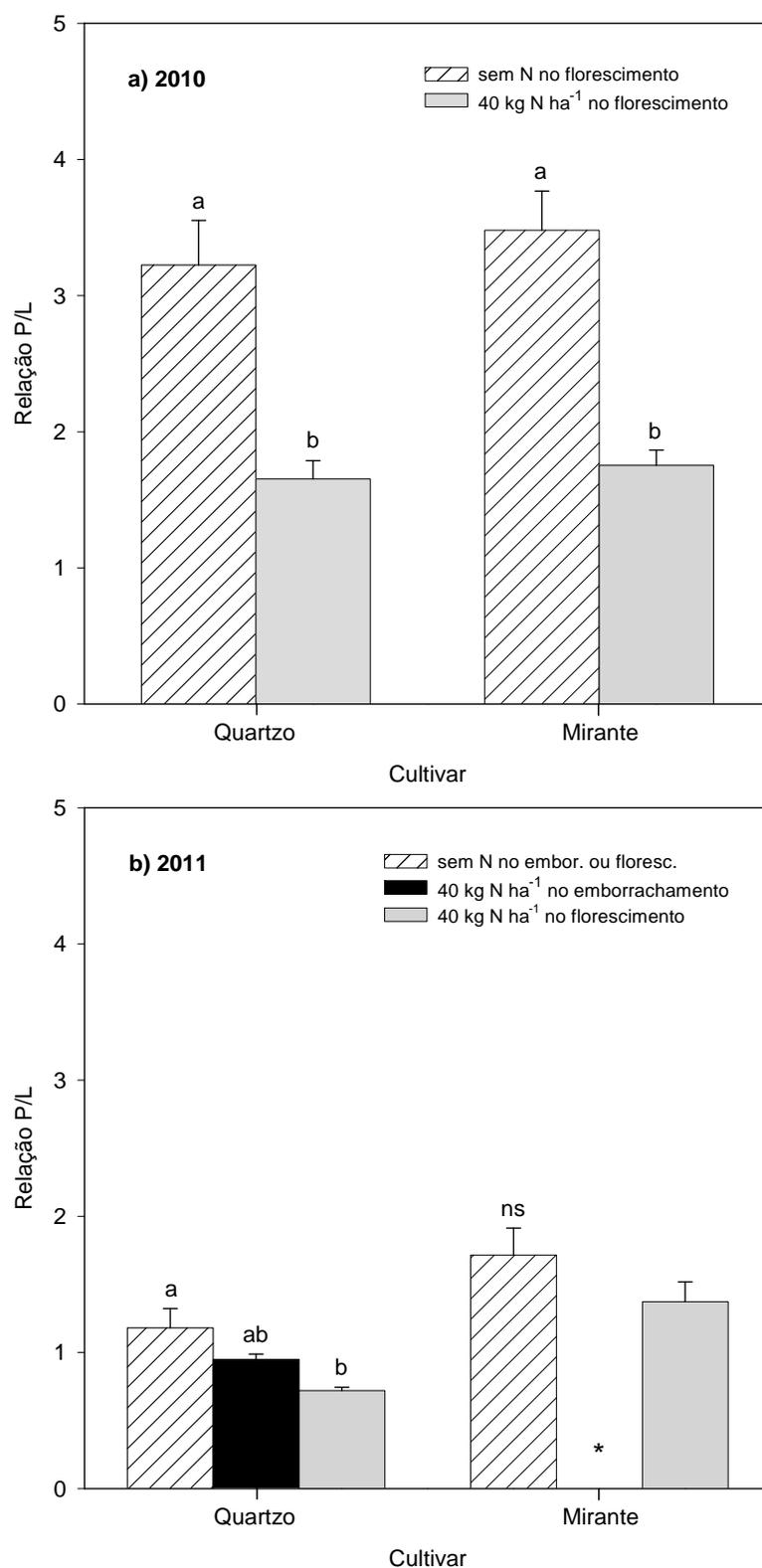


FIGURA 18. Relação P/L das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 (a) e 2011 (b). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. * não avaliado. Eldorado do Sul, RS.

A redução da relação P/L em função da aplicação tardia de N no estágio de florescimento da cultura (Figura 18) foi ocasionada, principalmente, pelo aumento dos valores de extensibilidade (Valor L) (Figura 17) verificado nas duas cultivares, nos dois anos de cultivo. Os resultados encontrados no presente trabalho concordam com os encontrados por Fuertes-Mendizabál *et al.* (2010). Estes autores verificaram que, tanto a maior dose de N como a maior divisão da dose (aplicação da mesma dose de N em duas ou três vezes), aumentou significativamente a extensibilidade da massa (Valor L), sendo que a dose de 140 kg de N ha⁻¹ dividida em três aplicações aumentou em 50% o Valor L (extensibilidade), em relação à aplicação parcelada em duas épocas.

O aumento observado na extensibilidade (Valor L), simultaneamente com o aumento menos acentuado na tenacidade (Valor P), se refletiu em diminuição no valor da relação P/L, produzindo, desta forma, uma massa mais equilibrada. Godfrey *et al.* (2010) verificaram aumento no teor de gliadinas com aumento da dose de N aplicada e esse aumento da fração proteica gliadina se refletiu em maior extensibilidade das amostras de massa das farinhas de grãos de trigo que foi cultivado com a dose de N mais elevada. Este comportamento também foi encontrado por Daniel & Triboi (2000), os quais verificaram aumento do teor de gliadina com o aumento da disponibilidade de N.

O aumento da relação P/L, com conseqüente acréscimo da tenacidade (Valor P) do glúten, pode ser provocado pela elevação do teor de gluteninas, que são proteínas de elevada tenacidade (resistência à extensão) e baixa extensibilidade. A redução da relação P/L, por outro lado, pode ser explicada pelo aumento do teor de gliadinas, que são responsáveis pela alta extensibilidade do glúten (habilidade de esticar sem romper) (Mandarino, 1994).

4.9 Correlações entre avaliações do dossel e parâmetros de qualidade

Além das análises anteriormente apresentadas e discutidas, foi estudada a correlação existente entre avaliações do dossel e alguns parâmetros de qualidade tecnológica dos grãos de trigo. Assim, foi avaliada a relação entre os valores de leituras do clorofilômetro realizadas na cultivar Quartzo aos nove dias após o estágio de florescimento (20 de outubro de 2011) e o teor de proteína e força de glúten (W) dos grãos (Figura 19).

As leituras do clorofilômetro se correlacionaram positivamente com o teor de proteína no grão (Figura 19.a) e com a força de glúten (W) (Figura 19.b), sendo observados valores do coeficiente de correlação (r) de 0,77 e 0,65, respectivamente.

Grande proporção do N presente nos grãos de trigo é remobilizado a partir de folhas e colmos após a antese. Assim, é esperado que a concentração de N nas folhas da planta por ocasião da antese possam ser bons indicadores da concentração de N no grão no final do ciclo da cultura (Lopez-Bellido *et al.*, 2004).

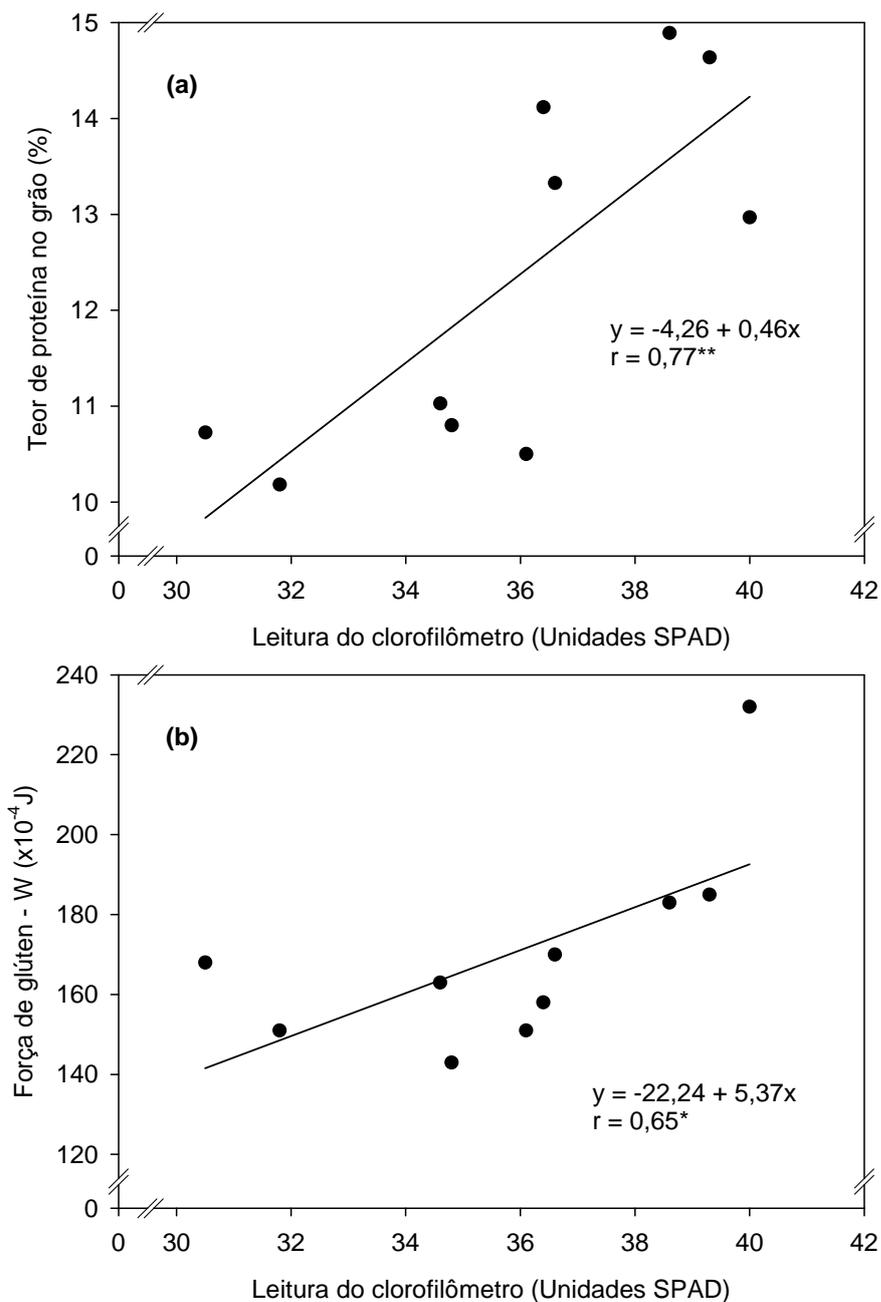


FIGURA 19. Relação entre valores de leitura do clorofilômetro aos nove dias após o florescimento e teor de proteína no grão (a) e força de glúten (b) na cultivar de trigo Quartzo. Eldorado do Sul, RS, 2011.

O emprego do clorofilômetro tem sido estudado para desenvolver e aperfeiçoar modelos de previsão da concentração de proteína nos grãos antes da colheita, com objetivo de realizar a segregação do trigo de forma antecipada,

segundo seu teor de proteína, ou seja, ainda no campo, com bases em medições simples e rápidas (Le bail *et al.*, 2005). Lopez-Bellido *et al.* (2004) sugerem que leituras realizadas com o clorofilômetro na folha bandeira no período de antese podem ser utilizadas para prever o teor de N nos grãos por ocasião da colheita. Estes autores realizaram experimento durante oito anos com uma única cultivar, encontrando valores de R^2 (coeficiente de determinação) de 0,73 entre o valor de leitura do clorofilômetro na folha bandeira por ocasião da antese e porcentagem de N no grão. Adicionalmente, sugerem que mais estudos devem ser realizados para estabelecer tal calibração para outras variedades. Poblaciones *et al.* (2009) encontram valores de coeficiente de correlação entre leitura do clorofilômetro realizada na antese e conteúdo de proteína no grão de 0,80 e entre a leitura do clorofilômetro e força de glúten (W) de 0,82. Estes autores indicaram que o clorofilômetro é uma ferramenta útil na predição da qualidade tecnológica do trigo, sendo possível obter esta informação de forma antecipada, ainda no campo.

Além disso, foi analisada a relação entre teor de proteína e força de glúten (W) nos dois anos de estudo, para as duas cultivares testadas (Figura 20).

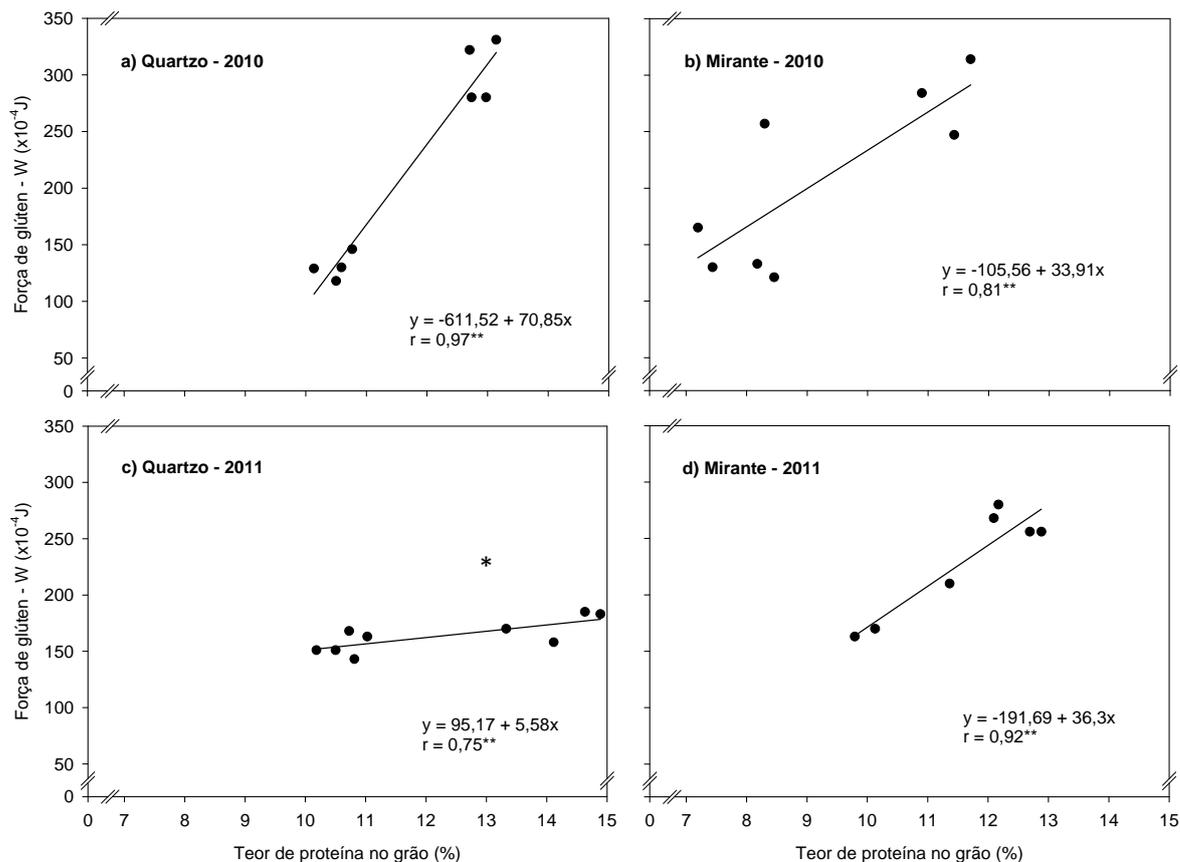


FIGURA 20. Relação entre teor de proteína no grão e força de glúten da massa (W) nas cultivares de trigo Quartzo e Mirante, nos anos de 2010 e 2011. *=valor atípico não considerado na análise. Eldorado do Sul, RS.

O teor de proteína no grão e a força de glúten (W) apresentaram elevado coeficiente de correlação (r) para as duas cultivares, nos dois anos de estudo, sendo sempre superior a 0,75 (Figura 20). Igualmente, Fuertes-Mendizábal *et al.* (2010) observaram correlação significativa ($r=0,95$) entre teor de N no grão e força de glúten (W). Gutkoski *et al.* (2002) realizaram experimento onde foram estudadas duas cultivares de trigo (OR1 e Rubi) de maneira diferenciada. Grãos da cultivar OR1 foram coletados em diversas regiões do sul do Brasil, sendo que não foi encontrada associação entre teor de proteína e força de glúten. Segundo os autores, a baixa variação na concentração de proteína entre as amostras analisadas pode ser uma justificativa para não ter sido observada correlação entre

os dois parâmetros. As amostras da cultivar Rubi, por outro lado, foram obtidas a partir de ensaio experimental variando a dose de N aplicada. Dessa maneira, foi gerada variação no teor de proteína no grão entre 10% e 14%, sendo verificada correlação de 0,75 entre teor de proteína no grão e sua força de glúten. Filho (1999) verificou que as amostras de trigo com teores mais baixos de proteína (10 a 11%), também apresentaram menores valores de força de glúten, enquanto que as amostras com teores mais altos de proteína (13 a 14%) apresentaram maiores valores de força de glúten.

Esta relação entre teor de proteína e força de glúten é válida apenas para amostras de uma única cultivar, já que diferentes cultivares podem diferir quanto ao tipo de proteínas sintetizadas no grão (Gutkoski *et al.*, 2002).

4.10 Parcelamento da aplicação de nitrogênio em cobertura

No experimento conduzido em 2011, foi realizada a aplicação de 140 kg N ha⁻¹ parcelado de duas maneiras diferentes. Em um dos tratamentos, a dose total foi dividida em duas aplicações (60 kg N ha⁻¹ na emergência das plantas + 80 kg N ha⁻¹ no estágio de seis folhas completamente expandidas). Em outro, a dose total foi dividida em três aplicações (20 kg N ha⁻¹ na emergência + 80 kg ha⁻¹ no estágio de seis folhas expandidas + 40 kg N ha⁻¹ no estágio de emborrachamento ou florescimento). Estes tratamentos foram delineados visando verificar o efeito do fracionamento da aplicação de N sobre o rendimento de grãos e alguns parâmetros de qualidade de grãos de trigo. Os parâmetros analisados foram rendimento de grãos, peso de mil grãos, peso do hectolitro e teor de proteína nos grãos.

Os resultados de rendimento de grãos são apresentados na Figura 21. A cultivar Quartzo apresentou diferença significativa entre os tratamentos, sendo que o maior rendimento de grãos foi obtido quando o N foi aplicado em três ocasiões, incluindo o estágio de emborrachamento. Já a cultivar Mirante não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Figura 21).

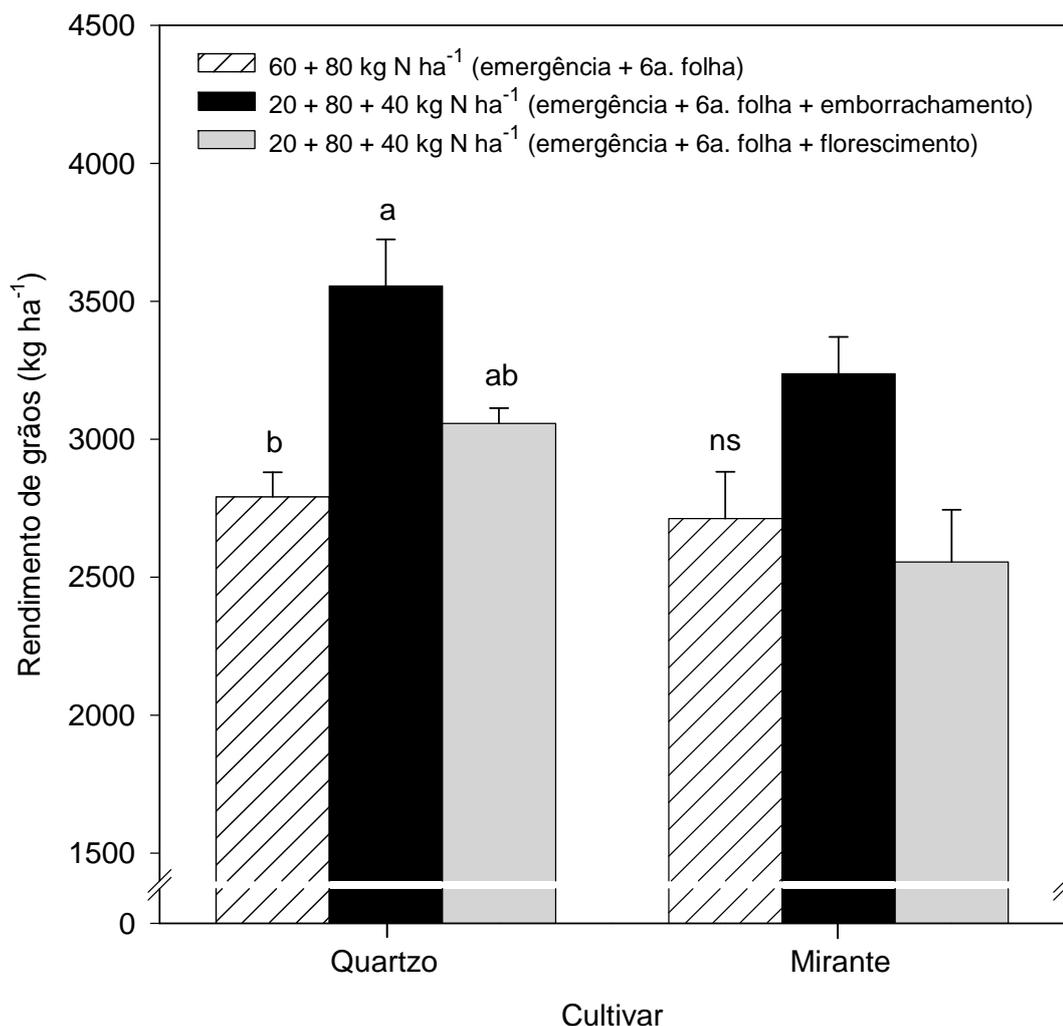


FIGURA 21. Rendimento de grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em função do parcelamento da aplicação de nitrogênio em cobertura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS, 2011.

Em relação ao peso de 1000 grãos, a cultivar Quartzo não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Figura 22), embora tenha apresentado diferença de mais de 2,5 g entre os tratamentos que receberam N nos períodos tardios (emborrachamento ou florescimento) e aquele que não recebeu N após o estágio de seis folhas completamente expandidas. Já na cultivar Mirante, o peso de 1000 grãos foi afetado pelo parcelamento da aplicação

de N, sendo que o tratamento no qual o N foi dividido em duas aplicações somente (emergência e estágio de seis folhas expandidas) apresentou menor peso de 1000 grãos, quando comparado aos tratamentos que incluíram aplicação de N nos estádios de emborrachamento ou florescimento (Figura 22).

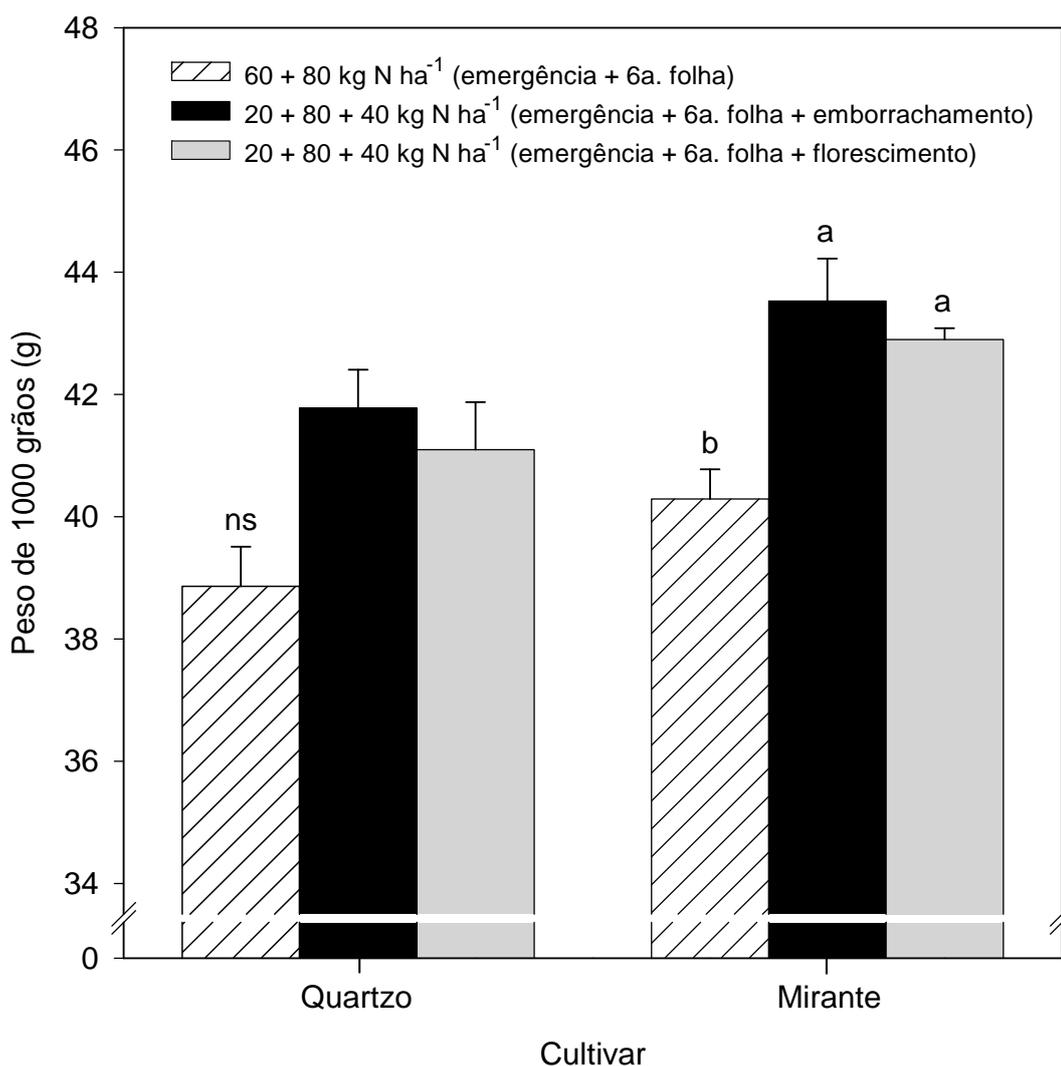


FIGURA 22. Peso de 1000 grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em função do parcelamento da aplicação de nitrogênio em cobertura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS, 2011.

O peso de hectolitro apresentou o mesmo comportamento para as duas cultivares (Figura 23). O tratamento que recebeu o N parcelado em duas épocas, apresentou menor peso do hectolitro, em comparação aos tratamentos que incluíram aplicação de N por ocasião do emborrachamento ou florescimento da cultura.

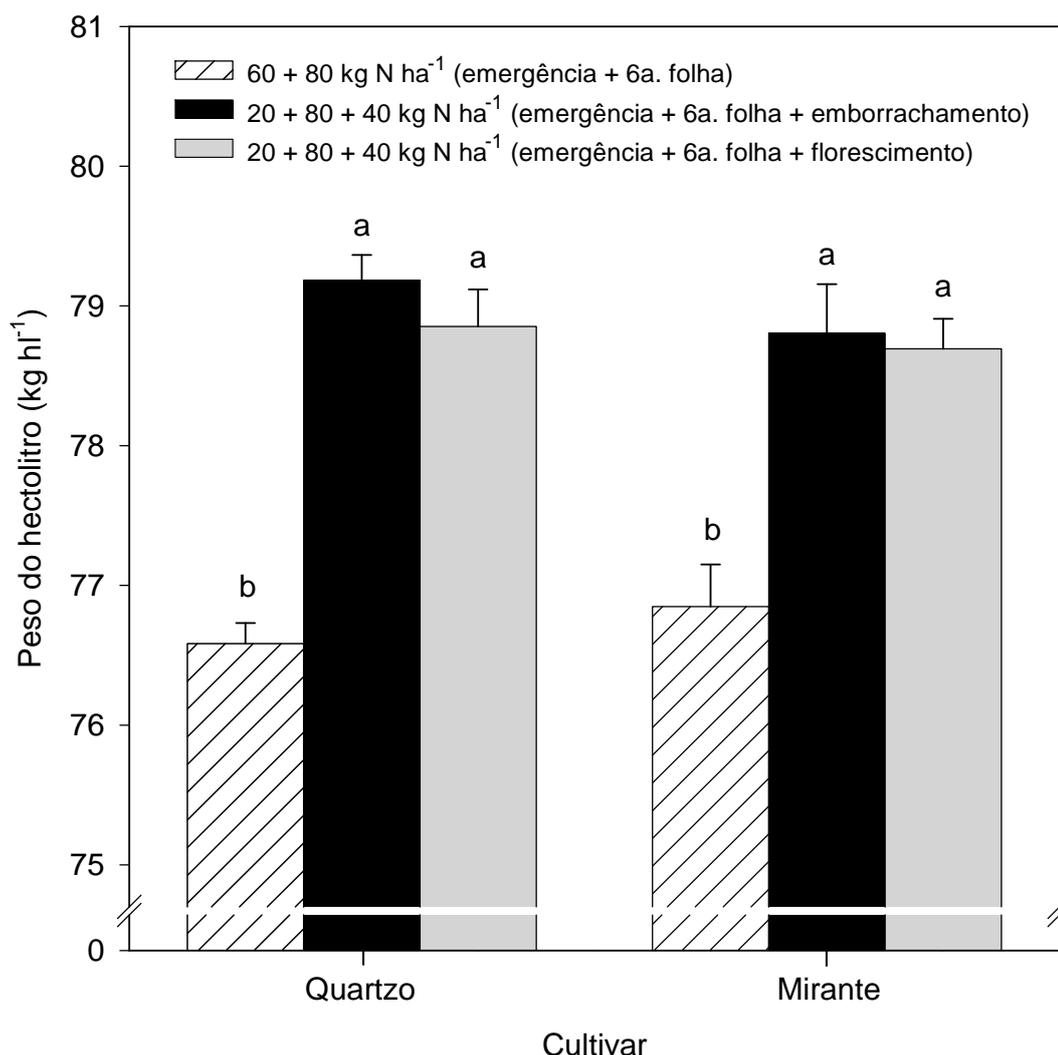


FIGURA 23. Peso do hectolitro das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em função do parcelamento da aplicação de nitrogênio em cobertura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS, 2011.

O peso do hectolitro no tratamento em que o N foi parcelado em duas épocas foi menor que 78 kg/hl nas duas cultivares, sendo que, neste caso, os grãos seriam classificados como “tipo 2”, segundo normativa nº 7 (Brasil, 2001) e normativa nº 38 (Brasil, 2010). Por outro lado, quando houve parcelamento da mesma dose em três momentos, incluindo aplicação nos estádios de emborrachamento ou florescimento, os valores do peso do hectolitro foram superiores a 78 kg/hl nas duas cultivares, o que resultaria na classificação destes grãos como sendo “tipo 1” (Brasil, 2001; Brasil 2010).

O teor de proteína foi influenciado significativamente pelo maior parcelamento da dose de N aplicada, incluindo aplicação em estádios tardios (emborrachamento ou florescimento). Nas duas cultivares, o parcelamento da dose total em maior número de vezes (incluindo aplicação em estádios tardios) resultou em incremento significativo no teor de proteína nos grãos. O teor de proteína na cultivar quartzo foi de 10,6% quando o N foi parcelado em duas aplicações, sendo que o teor de proteína aumentou para 14% quando a mesma dose de N foi aplicada em três ocasiões (Figura 24).

A cultivar Mirante também apresentou acréscimo significativo no teor de proteína em função do maior parcelamento do N aplicado, apresentando teor de proteína de 10,9% quando o N foi aplicado em duas ocasiões (emergência e estádio de seis folhas) e teor em torno de 12,7% quando foram realizadas três aplicações de N (Figura 24).

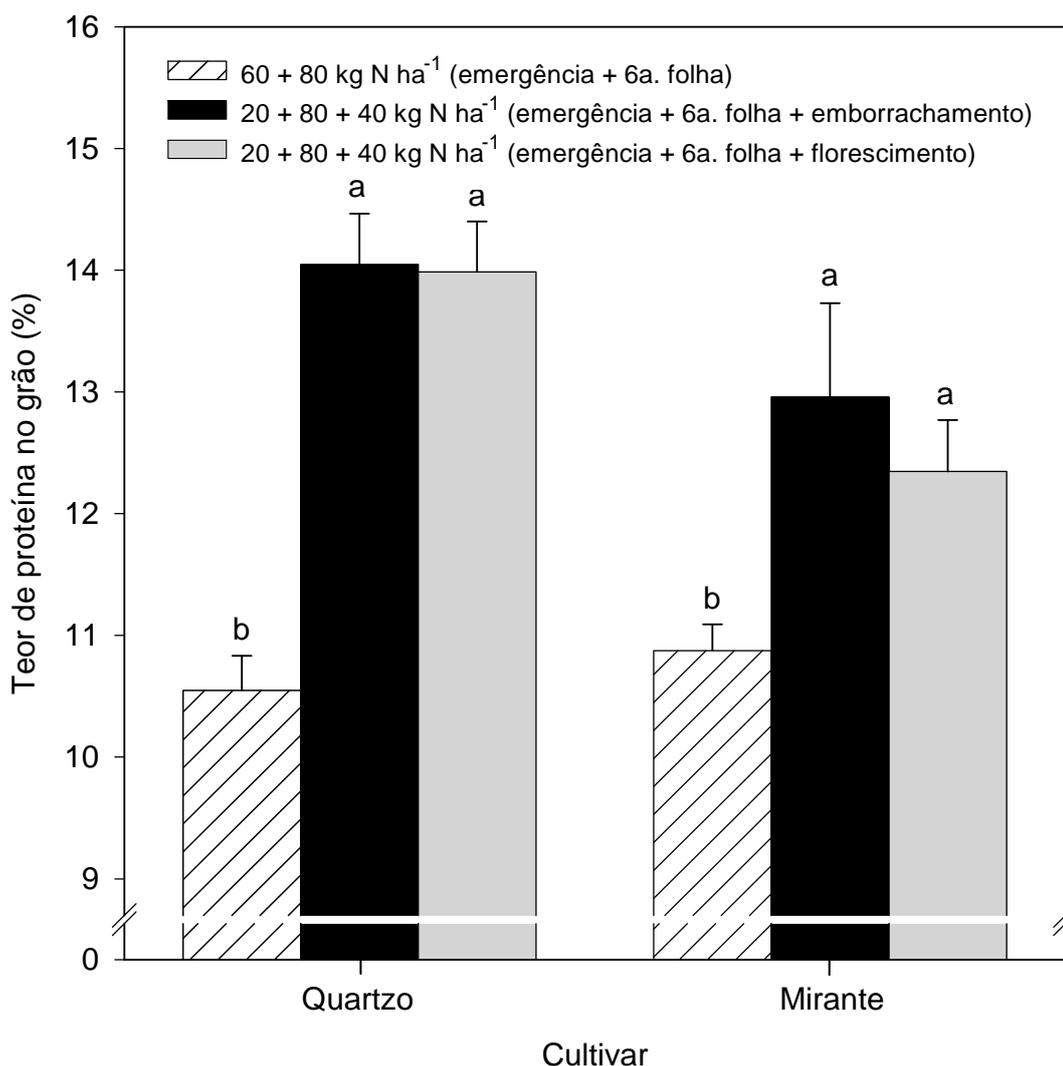


FIGURA 24. Teor de proteína no grão das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em função do parcelamento da aplicação de nitrogênio em cobertura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS, 2011.

De maneira geral, os parâmetros analisados foram positivamente influenciados pelo parcelamento da mesma dose de N (140 kg ha^{-1}) em maior número de vezes. Estes resultados corroboram com Fuertes-Mendizábal *et al.* (2010), os quais verificaram aumento no teor de proteína no grão não somente em função do aumento na dose de N aplicada, mas também em função do parcelamento da mesma dose em três aplicações, ao invés de duas. Estes

autores aplicaram a dose de 180 kg de N ha⁻¹ dividida em dois e a dose de 140 kg N ha⁻¹ em três estádios de aplicação, sendo a terceira aplicação realizada no momento de visualização da folha bandeira. Foi observado que a menor dose de N, porém aplicada em três estádios, produziu igualmente uma farinha forte, extensível, tenaz e equilibrada, quando comparada à maior dose aplicada. Assim, menor dose de fertilizante nitrogenado, porém melhor distribuída ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, pode resultar em qualidade de grãos equivalente a maiores doses de N, porém parceladas em menor número de aplicações.

A aplicação tardia de N é capaz de modificar o conteúdo de N no grão e, conseqüentemente, seus parâmetros de qualidade tecnológica (Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2010). Ainda, a suplementação de N realizada em estádios mais tardios do desenvolvimento da cultura pode balancear a disponibilidade deste nutriente para a cultura durante todo seu ciclo, uma vez que esta prática pode diminuir as perdas de N por lixiviação em anos chuvosos ou por volatilização em anos mais secos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O rendimento de grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante foi afetado pela aplicação tardia de N somente no período de emborrachamento no ano de 2011. Nas demais situações, não foi observado aumento significativo do rendimento de grãos em função da aplicação tardia de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento da cultura.

O peso de 1000 grãos foi o componente do rendimento de grãos mais influenciado pela aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, ocorrendo aumento significativo em função da maior disponibilidade de N nestes estádios. De maneira geral, os componentes do rendimento de grãos número de espigas m^{-2} e número de grãos espiga⁻¹ não foram significativamente afetados pela prática da fertilização nitrogenada nos estádios de emborrachamento ou florescimento da cultura.

O peso do hectolitro, teor de proteína e teores de glúten úmido e seco no grão apresentaram comportamento semelhante nas cultivares Quartzo e Mirante e nos dois anos de estudo, sendo que a aplicação tardia de N aumentou significativamente o valor destes parâmetros.

O número de queda (*Falling number*) apresentou comportamento diferenciado entre cultivares. A cultivar Quartzo apresentou resposta à aplicação tardia de N (emborrachamento ou florescimento), sendo que, com a aplicação de N nestes estádios, o número de queda aumentou nos dois anos de cultivo. Por

outro lado, o número de queda na cultivar Mirante não foi afetado pela aplicação de N nos estádios tardios.

A força de glúten (W) foi incrementada pela aplicação de N nos estádios de emborrachamento ou florescimento, nos dois anos de estudo. A relação tenacidade/extensibilidade (relação P/L) diminuiu com a aplicação adicional de N nestes estádios, principalmente em função do aumento na extensibilidade da massa (Valor L) proporcionado pelo nitrogênio.

A força de glúten (W) e o teor de proteína no grão se correlacionam significativamente. Contudo, a relação foi específica para cada cultivar utilizada no presente trabalho e para cada ano de estudo.

O parcelamento da mesma dose de N em três aplicações, sendo a última nos estádios de emborrachamento ou florescimento, incrementou o peso do hectolitro e o teor de proteína no grão, em comparação ao parcelamento em duas aplicações, nas duas cultivares utilizadas em 2011. Já o rendimento de grãos foi significativamente superior no tratamento que recebeu N parcelado em três aplicações somente na cultivar Quartzo. O peso de 1000 grãos foi influenciado pelo maior fracionamento da mesma dose de N somente na cultivar Mirante, sendo superior neste tratamento.

Para as cultivares Quartzo e Mirante, nos anos de 2010 e 2011, a aplicação de N em estádios mais tardios do desenvolvimento da cultura (emborrachamento ou florescimento) se mostrou uma prática eficiente para aumento da qualidade tecnológica dos grãos de trigo destinados à panificação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC - American Association of Cereal Chemists. **Approved methods**. 9. ed. Saint Paul, 1995. v. 2.

ABEDI, T.; ALEMZADEH, A.; KAZEMEINI, S. A. Wheat yield and grain protein response to nitrogen amount and timing. **Australian Journal of Crop Science**, Collingwood, v. 5, n. 3, p. 330-336, 2011.

ABITRIGO - Associação Brasileira da Indústria do Trigo. **Panificação deve crescer mais de 10% em 2012**. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br>>. Acesso em: 15 fev. 2012.

APASSUL – Associação dos Produtores e Comerciantes de Sementes e Mudanças do RS. **Estatísticas sobre produção e comercialização de sementes no Rio Grande do Sul (2006 a 2011)**. Disponível em: <<http://www.apassul.com.br>>. Acesso em: 20 jul. 2012.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. Adubação nitrogenada em milho implantado em semeadura direta após aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 745-754, 1999.

BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS e região de abrangência**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 78 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA, 1992. 365 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa n. 7 de 15 de agosto de 2001. **Diário oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, 21 ago. 2001. Seção 1, p. 33-35.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa n.38 de 30 de novembro de 2010. **Diário oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, 01 dez. 2010. Seção 1, p. 2-4.

BRAZ, A. J. B. P. et al. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em sistema de plantio direto após diferentes culturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2006.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Estádios fenológicos do trigo para a adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 317-323, 2001.

CARNEIRO, L. M. T. A. et al. Diferentes épocas de colheita, secagem e armazenamento na qualidade de grãos de trigo comum e duro. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 127-137, 2005.

CAZETTA, D. A. et al. Qualidade industrial de cultivares de trigo e triticales submetidos à adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 741-750, 2008.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília, DF. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, quarto levantamento, janeiro/2012.** Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_01_10_10_53_02_boletim_graos_4o_levantamento.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2012.

CORRÊA, P. C. et al. Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 665-670, 2006.

DANIEL, C.; TRIBOI, E. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: effects on gliadin Content and composition. **Journal of Cereal Science**, Kidlington, v. 32, n. 1, p. 45-56, 2000.

DELIBERALI, J. et al. Efeito de processos de secagem e tempo de armazenamento na qualidade tecnológica de trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1285-1292, 2010.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa do Trigo. **Descrição dos métodos usados para avaliar a qualidade de trigo.** Passo Fundo: CNPT, [2012]. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do112_5.htm>. Acesso em: 17 fev. 2012.

ERNANI, P. R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para macieira.** Lages: Graphel, 2003. 76 p.

FRANCESCHI, L. et al. Fatores pré-colheita que afetam a qualidade tecnológica de trigo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1624-1631, 2009.

FRIZZONE, J. A. et al. Efeito de diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada sobre componentes de produtividade da cultura do trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 425-434, 1996.

FUERTES-MENDIZÁBAL, T. et al. Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 33, p. 52-61, 2010.

FUERTES-MENDIZÁBAL, T. et al. Late nitrogen fertilization affects nitrogen remobilization in wheat. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 175, n. 1, p. 115–124, 2012.

GARRIDO-LESTACHE, E.; LÓPEZ-BELLIDO, R.; LÓPEZ-BELLIDO, L. Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 85, n. 2-3, p. 213-236, 2004.

GODFREY, D. et al. Effects of crop Nutrition on wheat grain composition and end use quality, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 58, n. 5, p. 3012–3021, 2010.

GRANT, L. A. et al. Spaghetti cooking quality of waxy and non-waxy durum wheats and blends. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Malden, v. 84, n. 1, p. 190-196, 2004.

GROHS, D. S. **Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada pelo índice de vegetação por diferença normalizada**. 2008. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

GUARIENTI, E. M. **Qualidade industrial de trigo**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1996. 36 p. (Embrapa-CNPT. Documentos, 27).

GUARIENTI, E. M. Qualidade do trigo brasileiro: realidade versus necessidade. In: CUNHA, G. R. D. **Oficina sobre trigo no Brasil: bases para a construção de uma nova triticultura brasileira**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. p. 95-102.

GUTKOSKI, L. C. et al. Efeito do período de maturação de grãos nas propriedades físicas e reológicas de trigo. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 888-894, 2008.

GUTKOSKI, L. C.; FILHO, O. R.; TROMBETTA, C. Correlação entre o teor de proteínas em grãos de trigo e a qualidade industrial das farinhas. **Boletim Ceppa**, Curitiba, v. 20, n. 1, p. 29-40, 2002.

HARPER, J. E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K. J. et al. (Ed.). **Physiology and determination of crop yield**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1994. p. 285-302.

HAUN, J. R. Visual quantification of wheat development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, p. 116-119, 1973.

IPAGRO. **Observações meteorológicas no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IPAGRO, 1979. 272 p. (Boletim Técnico, 3).

JOHANSSON, E.; PRIETO-LINDE, M. L.; JONSSON, J. O. Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 78, n. 1, p. 19–25, 2001.

KATAGIRI, M. et al. Expression and development of wheat proteins during maturation of wheat kernel and the rheological properties of dough prepared from the flour of mature and immature wheat. **Food Science and Technology Research**, Tóquio, v. 17, n. 2, p. 111–120, 2011.

KETTLEWELL, P. S. The response of alpha-amylase activity during wheat grain development to nitrogen fertiliser. **Annals of Applied Biology**, Oxford, v. 134, n. 2, p. 241–249, 1999.

KINDRED, D. R.; GOODING, M. J.; ELLIS, R. H. Nitrogen fertilizer and seed rate effects on Hagberg falling number of wheat hybrids and their parents are associated with alpha-amylase activity, grain cavity size and dormancy. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Malden, v. 85, n. 5, p. 727–742, 2005.

LAMOTHE, A. G. Trigo: calidad vs. rendimiento. In: JORNADA TÉCNICA DE CULTIVOS DE INVIERNO, 2006, Montevideo. Montevideo: CIMMYT/INIA, 2006. p. 207-246. (Serie de Actividades de Difusión, 444).

LE BAIL, M. et al. Is it possible to forecast the grain quality and yield of different varieties of winter wheat from Minolta SPAD meter measurements? **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 23, n. 4, p. 379-391, 2005.

LOPEZ-BELLIDO, R. J.; SHEPHERD, C. E.; BARRACLOUGH, P. B. Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 20, n. 3, p. 313-320, 2004.

MANDARINO, J. M. G. **Aspectos importantes para a qualidade do trigo**. Londrina: Embrapa, 1993. 32 p.

McMASTER, G. S. Phenology, development and growth of the wheat (*Triticum aestivum* L.) shoot apex: a review. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 59, n. 1, p. 63-118, 1997.

MEZEI, Z.; SIPOS, P.; GYORI, Z. Variations in quality parameters of forage and medium quality winter wheat varieties in storage. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, Croatia, v. 72, n. 3, p. 221-225, 2007.

MUNDSTOCK, C. M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: Evangraf, 1999. 227 p.

NAEEM, H. A.; PAULON, D.; MACRITCHIE, F. Developmental and environmental effects on the assembly of glutenin polymers and the impact on grain quality of wheat. **Journal of Cereal Science**, Kidlington, v. 56, n. 1, p. 51-57, 2012.

ORTOLAN, F. **Genótipos de trigo do Paraná – safra 2004**: caracterização e fatores relacionados à alteração de cor de farinha. 2006. 140 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

PAYNE, P. I. Wheat storage proteins: their genetics and their potential for manipulation by plant breeding. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, London, v. 304, n. 1120, p. 359-371, 1984.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 1, p. 59-65, 1992.

PIROZI, M. R.; GERMANI, R. Efeito do armazenamento sobre as propriedades tecnológicas da farinha, de variedades de trigo cultivadas no Brasil **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 149-163, 1998.

POBLACIONES, M. J.; LOPEZ-BELLIDO, L.; LOPEZ-BELLIDO, R. Field estimation of technological bread-making quality in wheat. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 112, n. 2-3, p. 253-259, 2009.

POLETO, N.; GROHS, D. S.; MUNDSTOCK, C. M. Flutuação diária e estacional de nitrato e amônio em um argissolo vermelho distrófico típico. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1619-1626, 2008.

POMERANZ, Y. **Modern cereal science and technology**. New York: VHC Publishers, 1987. 486 p.

PRANDO, A. M. Formas de ureia e doses de nitrogênio em cobertura no desempenho agrônomico de genótipos de trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 621-632, 2012.

RAMBO, L. **Integração de características de planta, de dossel e de solo para maior eficiência da adubação nitrogenada em cobertura em milho**. 2005. 178 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE. **Informações técnicas para trigo e triticales – safra 2012**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 218 p.

RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. 2004. 214 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2004.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; TEIXEIRA, M. C. C. Disponibilidade nutricional e hídrica. In: RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C. **Bases ecofisiológicas para manutenção da qualidade do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010a. p. 25-29.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; TEIXEIRA, M. C. C. Dormência: germinação em pré-colheita. In: RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C. **Bases ecofisiológicas para manutenção da qualidade do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010b. p. 31-41.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; TEIXEIRA, M. C. C. Potencial de rendimento de grãos. In: RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C. **Bases ecofisiológicas para manutenção da qualidade do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010c. p. 47-63.

ROSA FILHO, O. **Uso de adubação nitrogenada no espigamento para melhorar a qualidade industrial do trigo**. Passo Fundo: Aldeia, 1999. (Comunicado técnico, 1).

SANGOI, L. et al. Características agronômicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1564-1570, 2007.

SCHEEREN, P. L.; MIRANDA, M. Z. **Trigo brasileiro tem nova classificação: Novos critérios adotados a partir da safra de 1999**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. (Comunicado Técnico Online, 18).

SHANGGUAN, Z.; SHAO, M.; DYCKMANS, J. Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 156, p. 46-51, 2000.

SHEWRY, P. R.; HALFORD, N. G. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 1, p. 947-958, 2002.

SILVA, S. A. et al. Composição de subunidades de gluteninas de alta massa molecular (HMW) em trigos portadores do caráter "staygreen". **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 679-683, 2004.

SILVA, S. A. et al. Análise de trilha para os componentes de rendimento de grãos em trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 191-196, 2005.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. – 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TOEBE, M. et al. Estimativa da área foliar de *Crambe abyssinica* por discos foliares e por fotos digitais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 2, p. 475-478, 2010.

TONON, V. D. **Herança genética e estabilidade de características relacionadas à qualidade dos grãos e da farinha de trigo**. 2010. 117 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

TORBICA, A. et al. The influence of changes in gluten complex structure on technological quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Food Research International**, Kidlington, v. 40, n. 8, p. 1038-1045, 2007.

TRINDADE, M. G. et al. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 24-29, 2006.

TSEN, C. C.; HLYNKA, I. Flour lipids and oxidation of sulfhydryl groups in dough. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 40, n. 2, p. 145-153, 1963.

VARGA, B.; SVECNJAK, Z. The effect of late-season urea spraying on grain yield and quality of winter wheat cultivars under low and high basal nitrogen fertilization. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 96, n. 1, p. 125-132, 2006.

WIESER, H. Chemistry of gluten proteins. **Food Microbiology**, London, v. 24, p. 115-119, 2007.

WOOLFOLK, W. C. et al. Influence of late-season foliar nitrogen applications on yield and grain nitrogen in winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, n. 3, p. 429-434, 2002.

WRIGHT, D. L. et al. Canopy reflectance estimation of wheat nitrogen content for grain protein management. **GIScience and Remote Sensing**, Columbia, v. 41, n. 4, p. 287-300, 2004.

YANO, G. T.; TAKAHASHI, H. W.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes de nitrogênio e épocas de aplicação em cobertura para o cultivo do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 2, p. 141-148, 2005.

7 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Quadrados médios obtidos na análise de variância do rendimento de grãos e componentes do rendimento de grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em 2010.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m⁻²	Grãos espiga⁻¹	Peso de 1000 grãos
Blocos	3	59932,5 ^{ns}	1019,7 ^{ns}	6,402 ^{ns}	2,751 ^{ns}
Tratamentos	1	426879,2 ^{ns}	685,9 ^{ns}	0,010 ^{ns}	16,668 ^{**}
Resíduo	3	48405,0	2912,7	14,084	0,312
CV(%) ¹		6,6	13,8	16,6	1,5

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m⁻²	Grãos espiga⁻¹	Peso de 1000 grãos
Blocos	3	11487,6 ^{ns}	376,7 ^{ns}	0,708 ^{ns}	1,889 ^{ns}
Tratamentos	1	220048,8 ^{ns}	9645,1 ^{**}	1,715 ^{ns}	0,200 ^{ns}
Resíduo	3	56489,1	74,87	3,001	0,722
CV(%) ¹		7,7	2,4	9,3	2,1

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 2. Quadrados médios obtidos na análise de variância do rendimento de grãos e componentes do rendimento de grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em 2011.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m⁻²	Grãos espiga⁻¹	Peso de 1000 grãos
Blocos	4	337677,7 ^{ns}	1329,2 ^{ns}	1,359 ^{ns}	2,955 ^{ns}
Tratamentos	2	431192,2*	2637,4 ^{ns}	1,387 ^{ns}	9,554**
Resíduo	8	69960,7	649,5	1,260	1,049
CV(%) ¹		8,2	4,8	7,5	2,5

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m⁻²	Grãos espiga⁻¹	Peso de 1000 grãos
Blocos	4	147974,9 ^{ns}	629,6 ^{ns}	3,576 ^{ns}	0,686 ^{ns}
Tratamentos	2	830622,4**	3361,7*	4,011 ^{ns}	22,957**
Resíduo	8	70622,5	773,7	4,956	1,617
CV(%) ¹		9,6	7,1	13,2	3,0

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 3. Quadrados médios obtidos na análise de variância dos valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em diferentes datas de avaliação nas cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em 2010.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	24/09/2010	05/10/2010	08/10/2010	15/10/2010
Blocos	3	0,00071 ^{ns}	0,00042 ^{ns}	0,00097 ^{ns}	0,00570 ^{ns}
Tratamentos	1	0,00021 ^{ns}	0,00021 ^{ns}	0,00084 ^{ns}	0,04351*
Resíduo	3	0,00025	0,00009	0,00031	0,00190
CV(%) ¹		2,0	1,2	2,4	6,6

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	24/09/2010	05/10/2010	08/10/2010	15/10/2010
Blocos	3	0,00209 ^{ns}	0,00093 ^{ns}	0,00089 ^{ns}	0,00129 ^{ns}
Tratamentos	1	0,00329 ^{ns}	0,00272 ^{ns}	0,00208 ^{ns}	0,00103 ^{ns}
Resíduo	3	0,00068	0,00042	0,00070	0,00080
CV(%) ¹		3,7	2,9	4,0	4,8

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 4. Quadrados médios obtidos na análise de variância dos valores das leituras do clorofilômetro na cultivar de trigo Quartzo, em 2011.

Causas de variação	Graus de liberdade	06/10/2011	11/10/2011	20/10/2011
Blocos	4	7,421 ^{ns}	8,478 ^{ns}	2,390 ^{ns}
Tratamentos	2	44,668**	113,641**	101,700**
Resíduo	8	2,136	9,532	3,783
CV(%) ¹		3,75	7,8	5,1

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 5. Quadrados médios obtidos na análise de variância do peso do hectolitro, teor de proteína no grão, força de glúten (W) e número de queda das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em 2010.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Peso do hectolitro	Teor de proteína	Força de glúten (W)	Número de queda
Blocos	3	0,3480 ^{ns}	0,0149 ^{ns}	225,33 ^{ns}	257,792 ^{ns}
Tratamentos	1	16,1312**	11,4433**	59512,50**	4005,125*
Resíduo	3	0,2608	0,0989	641,83	47,458
CV(%) ¹		0,7	2,7	11,7	2,8

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Peso do hectolitro	Teor de proteína	Força de glúten (W)	Número de queda
Blocos	3	1,2713 ^{ns}	1,2174 ^{ns}	513,79 ^{ns}	360,667 ^{ns}
Tratamentos	1	6,5667*	12,1999*	38226,13**	84,500 ^{ns}
Resíduo	3	0,5192	0,5694	757,46	357,833
CV(%) ¹		0,9	7,2	13,3	4,3

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 6. Quadrados médios obtidos na análise de variância do peso do hectolitro, teor de proteína no grão, força de glúten (W) e número de queda das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em 2011.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Peso do hectolitro	Teor de proteína	Força de glúten (W)	Número de queda
Blocos	4	0,2683 ^{ns}	0,8720 ^{ns}	261,23 ^{ns}	442,767 ^{ns}
Tratamentos	2	7,2890**	18,9053**	5422,47**	4044,200**
Resíduo	8	0,1187	0,3053	412,63	338,117
CV(%) ¹		0,5	4,3	10,9	4,5

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Peso do hectolitro	Teor de proteína	Força de glúten (W)	Número de queda
Blocos	4	0,4038 ^{ns}	0,1531 ^{ns}	364,33 ^{ns}	24,125 ^{ns}
Tratamentos	2	7,0003**	8,4650**	14792,00**	3,125 ^{ns}
Resíduo	8	0,3098	0,3361	212,33	166,458
CV(%) ¹		0,7	4,9	6,5	

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 7. Quadrados médios obtidos na análise de variância dos teores de glúten úmido e glúten seco, tenacidade (Valor P), extensibilidade (Valor L) e relação P/L das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em 2010.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Glúten úmido	Glúten seco	Valor P	Valor L	Relação P/L
Blocos	3	0,008*	0,0713 ^{ns}	215,125**	23,458 ^{ns}	0,4051 ^{ns}
Tratamentos	1	265,651**	34,0313**	351,125**	2775,12**	4,9455**
Resíduo	3	0,151	0,0313	4,458	6,458	0,0938
CV(%) ¹		1,7	2,1	2,0	5,10	12,6

¹Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Glúten úmido	Glúten seco	Valor P	Valor L	Relação P/L
Blocos	3	3,251 ^{ns}	0,0901 ^{ns}	74,125 ^{ns}	23,125 ^{ns}	0,1739 ^{ns}
Tratamentos	1	190,808**	31,4821**	55,125 ^{ns}	2080,12**	5,9685*
Resíduo	3	1,677	0,1321	10,458	40,458	0,2065
CV(%) ¹		5,6	4,6	3,1	13,9	17,4

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 8. Quadrados médios obtidos na análise de variância dos teores de glúten úmido e glúten seco, tenacidade (Valor P), extensibilidade (Valor L) e relação P/L das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em 2011.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Glúten úmido	Glúten seco	Valor P	Valor L	Relação P/L
Blocos	4	2,502 ^{ns}	0,1757 ^{ns}	22,733 ^{ns}	3,733*	0,0143 ^{ns}
Tratamentos	2	363,933**	30,9407**	342,067*	1308,80**	0,2738*
Resíduo	8	4,424	0,4632	50,733	59,133	0,0373
CV(%) ¹		6,5	6,5	9,6	9,5	20,3

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Glúten úmido	Glúten seco	Valor P	Valor L	Relação P/L
Blocos	4	1,354 ^{ns}	0,7617 ^{ns}	20,000 ^{ns}	23,792 ^{ns}	0,1885 ^{ns}
Tratamentos	1	254,251**	37,8450**	12,500 ^{ns}	1891,25*	0,2346 ^{ns}
Resíduo	8	1,924	0,5283	9,833	55,458	0,0552
CV(%) ¹		5,1	7,9	3,3	11,4	15,2

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 9. Quadrados médios obtidos na análise de variância do rendimento de grãos, peso de 1000 grãos, peso do hectolitro e teor de proteína no grão das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, nos tratamentos que receberam aplicação de dose de 140 kg de N ha⁻¹ parcelada em duas ou três aplicações, em 2011.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Peso de 1000 grãos	Peso do hectolitro	Teor de proteína
Blocos	4	89159,6 ^{ns}	1,8339 ^{ns}	0,06199 ^{ns}	0,79430 ^{ns}
Tratamentos	2	589199,8*	9,8576 ^{ns}	7,46616**	17,1071**
Resíduo	8	55475,8	2,2185	0,23669	0,46085
CV(%) ¹		7,5	3,7	0,6	5,3

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Peso de 1000 grãos	Peso do hectolitro	Teor de proteína
Blocos	4	44190,4 ^{ns}	0,5603 ^{ns}	0,92182*	0,38817 ^{ns}
Tratamentos	2	404553,5 ^{ns}	10,5835*	4,84149**	4,65190**
Resíduo	8	142357,9	1,3875	0,15495	0,17366
CV(%) ¹		13,5	2,8	0,5	3,5

¹ Coeficiente de variação

^{ns} Não significativo

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 10. Modelos ajustados e resumo da análise estatística para a relação entre valores de leitura do clorofilômetro, teor de proteína no grão e força de glúten (W) na cultivar de trigo Quartzo, em 2011.

Relação	Modelo ajustado	Coefficiente de correlação (r)	Quadrado médio da regressão	Valor F	Significância
Clorofilômetro vs. teor de proteína	$y = -4,26 + 0,46x$	0,77	18,23	11,39	0,01
Clorofilômetro vs. força de glúten	$y = -22,24 + 5,371,79x$	0,65	2460,39	5,75	0,043

APÊNDICE 11. Modelos ajustados e resumo da análise estatística para a relação entre teor de proteína no grão e força de glúten (W) nas cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em 2010 e 2011.

Cultivar – ano	Modelo ajustado	Coefficiente de correlação (r)	Quadrado médio da regressão	Valor F	Significância
Quartzo – 2010	$y = -611,51 + 70,85x$	0,97	59158,51	120,09	0,001
Quartzo – 2011	$y = 95,17 + 5,58x$	0,75	951,57	9,29	0,019
Mirante – 2010	$y = -105,56 + 33,91x$	0,92	11740,75	28,81	0,003
Mirante – 2011	$y = -191,68 + 36,30x$	0,81	27214,93	11,01	0,016

8 VITA

Danielle Almeida é filha de Jaime Antônio Almeida e Suzana Maria Almeida. Nasceu em Porto Alegre, em 17 de janeiro de 1984. Coursou o primeiro grau na Escola Estadual de 1º Grau Itamarati, em Porto Alegre - RS. O segundo grau cursou no Colégio Estadual Cândido José de Godói, em Porto Alegre - RS.

Em 2004, ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre - RS, onde graduou-se Engenheira Agrônoma no ano de 2009.

Em 2010, ingressou no curso de Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre - RS.