

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ADEMIR FANO

FONTES DE ENXOFRE E MANEJO DE NITROGÊNIO NA  
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE INDUSTRIAL DE TRIGO

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2015

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ADEMIR FANO**

**FONTES DE ENXOFRE E MANEJO DE NITROGÊNIO NA**  
**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE INDUSTRIAL DE TRIGO**

**DISSERTAÇÃO**

**PATO BRANCO**

**2015**

ADEMIR FANO

**FONTES DE ENXOFRE E MANEJO DE NITROGÊNIO NA  
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE INDUSTRIAL DE TRIGO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Giovani Benin

PATO BRANCO

2015

F214f

**Fano, Ademir**

**Fontes de enxofre e manejo de nitrogênio na produtividade e qualidade industrial de trigo / Ademir Fano. -- 2015**  
69 f. : il. ; 30 cm.

**Orientador: Prof. Dr. Giovani Benin**  
**Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2015.**

**Bibliografia: f. 57 – 69**

**1. Trigo - Qualidade. 2. Enxofre. 3. Adubação nitrogenada. 4. Grãos – Rendimento. I. Benin, Giovani, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.**

**CDD (22. ed.) 630**

Ficha Catalográfica elaborada por  
Suélem Belmudes Cardoso CRB 9/1630  
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Pato Branco  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



## TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação n.º 110

***Fontes de enxofre e manejo de nitrogênio na produtividade e qualidade industrial do trigo.***

por

**Ademir Fano**

Dissertação apresentada às treze horas e trinta minutos do dia dezessete de março do ano de dois mil e quinze, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Sistemas de Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

**Prof.º Dr. Volmir Sérgio Marchioro**  
Coodetec – Cascavel/PR

**Prof. Dr. Lindolfo Storck**  
UTFPR/PB

**Prof. Dr. Luiz César Cassol**  
UTFPR/PB

**Prof. Dr. Giovani Benin**  
UTFPR/PB  
Orientador

Visto da Coordenação:

  
**Prof. Dr. Giovani Benin**  
Coordenador do PPGAG

Dedico  
a realização desta dissertação  
a minha família e a minha noiva Gelsica,  
que sempre apoiaram minhas escolhas.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar a Deus, pela vida, fé, força e sabedoria.

Agradeço especialmente aos meus pais Valdemar Fano e Gerta Helena Fano, pela educação, valores familiares e ao incentivo que sempre me deram para que continuasse a estudar.

Agradeço ao carinho, amor, compreensão e companheirismo da minha noiva Gelsica Tortelli, que esteve sempre do meu lado ao longo desta caminhada. Sempre me ajudou a tomar decisões e contribuiu muito para essa conquista.

Sou grato a dedicação do orientador e amigo Giovani Benin, que durante o período do mestrado transmitiu conhecimentos e experiências, fundamentais para a conclusão desta importante etapa de minha carreira.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UTFPR, pelos ensinamentos e pela amizade construída. A UTFPR pela oportunidade de aperfeiçoamento com o mestrado e aos amigos que conviveram comigo nesse período.

Um agradecimento muito especial ao meu amigo, colega de trabalho e compadre Fábio Ribeiro Machado, que me ajuda e me incentiva desde o tempo da graduação até a conclusão do mestrado. Foi fundamental para a realização deste projeto, muito obrigado.

Agradeço a equipe da Coopavel, pela oportunidade de realização deste mestrado e aos colegas de trabalho que, de uma forma ou outra, contribuíram para que eu pudesse alcançar essa conquista.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de  
água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”

- Madre Teresa de Calcutá -

## RESUMO

FANO, Ademir. Fontes de enxofre e manejo de nitrogênio na produtividade e qualidade industrial de trigo. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

Este estudo objetivou avaliar o efeito da aplicação de enxofre (S) e o manejo de nitrogênio (N) em cobertura em relação ao rendimento de grãos e qualidade industrial do trigo. Foram conduzidos três experimentos a campo, na safra de inverno 2013, em Capitão Leônidas Marques, Realeza e Santa Isabel do Oeste, estado do Paraná. Utilizou-se a cultivar de trigo CD 150, semeada em resteva de soja. Foi usado o delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições, em esquema fatorial 3x4. Os tratamentos consistiram de duas fontes de enxofre (gesso agrícola, enxofre elementar pastilhado e testemunha, aplicados a lanço no perfilhamento) e formas de aplicação de nitrogênio em cobertura (100% no perfilhamento, 100% no início da elongação, 50% + 50% e testemunha). As doses utilizadas foram de 80 kg ha<sup>-1</sup> de S e N, sendo o nitrogênio aplicado na forma de uréia revestida com inibidor de urease (41% de N). As condições climáticas (precipitação pluviométrica e geadas) observadas na condução dos experimentos resultaram em uma baixa média produtiva geral dos experimentos. Em geral, não houve diferenças significativas entre os manejos de N testados em relação ao rendimento de grãos e índice relativo de clorofila, havendo alta correlação direta entre estas variáveis. O uso de enxofre elementar pastilhado incrementou em 16,3% o rendimento de grãos no ensaio de Realeza, comparado à testemunha. As formas de manejo de N em cobertura influenciaram o teor de glúten úmido (GU) e o índice de elasticidade (IE) da farinha, onde destacou-se a aplicação de N em dose única no início da elongação como melhor manejo. Não observou-se aumento na força de glúten (W) em relação às fontes de enxofre e à aplicação de N em cobertura para a cultivar CD 150. O rendimento de farinha foi influenciado positivamente pelo uso de nitrogênio em cobertura (independente do manejo) e pelas fontes de enxofre aplicadas, com vantagem do enxofre elementar pastilhado em relação ao gesso agrícola. A associação entre caracteres agrônômicos e parâmetros de qualidade industrial, indicou que os tratamentos com maiores rendimentos de grãos e que apresentam maiores teores foliares de clorofila são determinantes na obtenção de farinhas com maior GU e IE, porém com tendência a obtenção de menor W e baixa extração de farinha. Assim sendo, para a cultivar de trigo CD 150, uma única aplicação nitrogênio em cobertura no início da elongação, assegura boa produtividade de grãos com benefícios a alguns parâmetros de qualidade industrial do trigo. No entanto, os resultados são inconclusivos em relação à utilização das fontes de enxofre em trigo, em virtude das condições climáticas adversas registradas. Orienta-se a condução de novos ensaios com o enxofre elementar pastilhado usado na adubação de base, o que poderia melhorar sua oxidação junto ao solo. Devem ser conduzidos novos estudos em condições à obtenção de maiores rendimentos de grãos e abrangendo outras cultivares de trigo da classe melhorador.

**Palavras-chave:** Trigo. Enxofre. Adubação Nitrogenada. Qualidade Industrial.

## ABSTRACT

FANO, Ademir. Sulfur sources and nitrogen management in the productivity and industrial quality wheat. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Federal University of Technology - Paraná. Pato Branco, 2015.

This study aimed to evaluate the effect of sulfur (S) and the management of nitrogen (N) coverage in relation to grain yield and Wheat industrial quality. Three experiments were conducted in the field, on winter 2013 season, in Captain Leônidas Marques, Realeza and Santa Isabel do Oeste, Paraná state. In all the three places were used the wheat cultivar CD 150, sown in the straw of wheat. We used the experimental of randomized blocks with three replications in a 3x4 factorial design. The treatments consist of two sulfur sources (gypsum and elemental sulfur patched, applied by throwing at tillering, witness) and forms of nitrogen application in coverage (100% at tillering; 100% in the elongation and 50% + 50%, Witness). The doses used are 80 kg ha<sup>-1</sup> S and N, being the nitrogen applied in the urea form coated with inhibitor of urease (41% of N). The Weather conditions (rainfall and frost) observed in the conduct of experiments resulted in a general productive low average of experiments. It was observed, in general, no significant differences between the N management tested for grain yield (RG) and relative chlorophyll index (IRC), there is high direct correlation between these variables. The use of elemental sulfur patched increased by 16.3% grain yield testing in Realeza, compared to witness. The forms of management of N in coverage positively influenced the wet gluten content (GU) and the elastic index (IE) the flour, where stood out the application of N a single dose at the beginning of elongation and better management. There wasn't have an increase in gluten strength (W) in relation to sources of sulfur and to N coverage for cultivate CD 150. The flour yield was positively influenced by the use of nitrogen in coverage (independent of management) and the applied sulfur sources with the advantage elemental sulfur patched in relation to agricultural plaster. The association between agronomic traits and industrial quality parameters indicated that treatment with higher grain yields and have higher foliar chlorophyll are crucial in obtaining flour with higher GU e IE but with a tendency towards a lower and low extraction flour. Therefore, for the cultivate CD 150 wheat, just one application of nitrogen in coverage in elongation ensures good grain yield benefits to some Wheat quality parameters. However, the results are inconclusive regarding about the use of sulfur sources in wheat, due to adverse weather conditions recorded. The conduction of new tests with elemental sulfur patched used at the base of fertilization is oriented, which could enhance oxidation at ground. Further studies should be conducted in a position to higher grain yields and covering other wheat cultivars enhancer class.

**Keywords:** Wheat. Sulfur. Nitrogen Fertilization. Industrial Quality.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Precipitação pluviométrica acumulada a cada três dias para os municípios de instalação dos experimentos, no período compreendido entre maio e setembro de 2013. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015.....	34
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores mínimos para classificação de trigo no Brasil destinado a moagem e outras finalidades, de acordo com a Instrução Normativa nº 38 do MAPA de 30 de novembro de 2010. UTFPR, Campus Pato Branco – PR, 2015.....	20
Tabela 2. Localização geográfica e características físicas do solo <sup>(1)</sup> do local dos experimentos. UTFPR, Campus Pato Branco – PR, 2015.....	26
Tabela 3. Resultados da análise química de solo <sup>(1)</sup> das áreas experimentais, antes da implantação dos experimentos. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015.....	27
Tabela 4. Datas referentes à semeadura, manejos de adubação em cobertura e colheita de cada experimento. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015.....	28
Tabela 5. Resumo da análise de variância incluindo Graus de Liberdade (GL) e Coeficiente e Variação (CV %) para caracteres agronômicos de trigo, submetido a fontes de enxofre e diferentes manejos de nitrogênio em cobertura. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015....	35
Tabela 6. Rendimento de grãos de trigo submetido a fontes de enxofre e diferentes manejos de nitrogênio em cobertura em três locais. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015.....	36
Tabela 7. Análise foliar <sup>(1)</sup> de trigo dos tratamentos durante o florescimento das plantas, nos três locais de instalação dos experimentos. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015.....	40
Tabela 8. Índice relativo de clorofila e massa seca de plantas de trigo submetido a diferentes manejos de nitrogênio em cobertura em três locais. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015.....	42
Tabela 9. Número de espigas (m <sup>2</sup> ) de trigo submetido a fontes de enxofre e diferentes manejos de nitrogênio em cobertura em três locais. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015.....	43
Tabela 10. Massa do hectolitro (kg hL <sup>-1</sup> ) de trigo submetido a fontes de enxofre e diferentes manejos de nitrogênio em cobertura em três locais. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015.....	44
Tabela 11. Efeitos diretos e indiretos de caracteres agronômicos <sup>(1)</sup> sobre o rendimento de grãos de trigo, nos três locais de realização dos experimentos. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015 .....	45
Tabela 12. Análise de variância incluindo Graus de Liberdade (GL) e Coeficiente e Variação (CV %) para caracteres relacionados à extração de farinha, glúten úmido e cor da farinha de trigo, submetido a fontes de enxofre e diferentes manejos de nitrogênio em cobertura. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015.....	46
Tabela 13. Rendimento de farinha (RF) extração de farinha (EF), teor de glúten úmido (GU) e índice de elasticidade (IE) de trigo sob diferentes manejos de nitrogênio em cobertura. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015.....	47
Tabela 14. Análise de variância incluindo Fonte de Variação (FV), Graus de Liberdade (GL) e Coeficiente e Variação (CV %) para alveografia da farinha de trigo submetido a fontes de enxofre (S) e diferentes manejos de nitrogênio em cobertura (N). UTFPR, Campus Pato Branco, 2015.....	49
Tabela 15. Efeitos diretos e indiretos de caracteres <sup>(1)</sup> de qualidade industrial de trigo sobre a força do glúten, no experimento de Realeza. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015.....	51
Tabela 16. Coeficientes canônicos da análise de correlação canônica de trigo entre os grupos de caracteres agronômicos de rendimento de grãos e qualidade industrial. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015.....	53

## LISTA DE SIGLAS

AACC	Código de Endereçamento Postal
ABITRIGO	Organização não Governamental
CD	Coodetec – Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PR	Unidade da Federação – Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## LISTA DE ABREVIATURAS

Ca	Cálcio
cm	Centímetro
CV	Coeficiente de variação
DAE	Dias após a emergência
dm <sup>3</sup>	Decímetro cúbico
EF	Extração de farinha
g	Gramas
GU	Teor de glúten úmido
ha	Hectare
i.a.	Ingrediente ativo
IE	Índice de Elasticidade
IRC	Índice Relativo de clorofila
J	Joules
K	Potássio
kg	Quilogramas
L	Local
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
Mg	Magnésio
mg	Miligrama
MH	Massa do Hectolitro
mm	Milímetro
MS	Massa seca de planta inteira
N	Nitrogênio
NE	Número de espigas por metro quadrado
P	Fósforo
RF	Rendimento de farinha
RG	Rendimento de grãos
S	Enxofre

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
®	Marca registrada
G	Índice de entumescimento
L	Extensibilidade
°C	Graus Celsius
P	Tenacidade
P/L	Relação entre tenacidade e extensibilidade
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação
W	Força de glúten

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1 ASPECTOS ECONÔMICOS DA CULTURA DO TRIGO.....	17
2.2 COMPOSIÇÃO DO GRÃO E FARINHA DE TRIGO.....	18
2.3 QUALIDADE INDUSTRIAL DE TRIGO.....	19
2.4 EFEITO DO NITROGÊNIO E SEU PARCELAMENTO SOBRE A PRODUTIVIDADE DO TRIGO.....	20
2.5 EFEITO DO NITROGÊNIO E DO ENXOFRE SOBRE A QUALIDADE DO TRIGO .....	24
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	26
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	27
3.3 CONDUÇÃO DOS ENSAIOS.....	28
3.4 AVALIAÇÕES.....	29
3.4.1 Índice relativo de clorofila (IRC).....	29
3.4.2 Análise Foliar.....	29
3.4.3 Caracteres Agronômicos.....	30
2.4.4 Características industriais do trigo.....	30
3.5 ANÁLISE DOS DADOS.....	31
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>33</b>
4.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.....	33
4.2 CARACTERES AGRONÔMICOS AVALIADOS.....	35
4.3 INDICADORES DE QUALIDADE INDUSTRIAL.....	46
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O trigo é o principal cultivo de inverno na região sul do Brasil. O alto potencial de produção da cultura vem sendo obtido pela utilização de cultivares modernas, aliado ao uso racional e integrado dos recursos de solo, clima e técnicas de manejo.

As exigências por trigos de alta qualidade industrial estão aumentando, sendo este fato mais evidente com a publicação da Instrução Normativa Nº 38 de 30 de Novembro de 2010 (BRASIL, 2010) e da Resolução – RDC Nº 7 de 18 de fevereiro de 2011 (BRASIL, 2011), que determinam os novos padrões qualitativos para a comercialização do trigo no Brasil. Dentre os fatores que possuem forte impacto na qualidade tecnológica do trigo destaca-se o manejo da adubação nitrogenada (GARRIDO-LESTACHE et al., 2004; TAKAYAMA et al., 2006).

A utilização de doses de 80 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (N) contribuem positivamente em parâmetros indicativos de qualidade industrial (PINNOW et al., 2013) e os efeitos positivos da adubação nitrogenada na produtividade de trigo, especialmente com a utilização de doses elevadas, estão relacionados a um melhor desempenho dos componentes de rendimento de grãos (BENIN et al., 2012). Alguns estudos indicam que o parcelamento da adubação nitrogenada resulta em maior recuperação do nutriente pela cultura e maior produtividade, quando comparados com a aplicação numa única vez (SANGOI et al., 2007; MEGDA et al., 2009). No entanto, Costa et al. (2013) concluíram não haver respostas significativas em termos produtivos na divisão do N em cobertura, isso para o perfilhamento e/ou emborrachamento da cultura.

Outro nutriente relacionado a características tecnológicas da farinha de trigo é o enxofre (S). É um nutriente essencial às plantas, pois participa na formação de aminoácidos, e em trigo, é constituinte de proteínas formadoras de glúten (gliadinas e gluteninas), onde sua deficiência pode causar consequências significativas na qualidade de grãos (SHEWRY, 1995; JARVAN et al., 2008). A necessidade de S para a cultura do trigo está entre 15 e 20 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que a fase reprodutiva é a mais sensível à deficiência deste nutriente (McGRATH et al., 1996). No entanto, há poucos trabalhos atuais realizados com enxofre na cultura do trigo no Brasil, sendo alguns conduzidos em sistema de plantio convencional e em condições

de baixas produtividades, afetando a disponibilidade do nutriente no solo e a necessidade da cultura.

Respostas de qualidade de trigo a fertilização com enxofre geralmente são mais comuns do que respostas em termos de produção de grãos (ZHAO et al., 1999). Em alguns trabalhos realizados no Brasil, o efeito do S no rendimento de grãos em trigo (ALVAREZ, 2004; OSÓRIO-FILHO et al., 2007) e na produção de matéria seca em trigo (RHEINHEIMER et al., 2007) não tem sido significativo sob sistema de semeadura direta.

Porém, a aplicação conjunta de nitrogênio e enxofre apresentam respostas promissoras para alguns parâmetros tecnológicos, especialmente tenacidade e extensibilidade (LUO et al., 2000; TEA et al., 2007). Quando aplicados simultaneamente, N e S aumentaram o teor de proteína da farinha, extensibilidade, força de glúten (W) e volume do pão (TEA et al., 2007), fato este não confirmado por Erekul et al., (2012), que obtiveram resultado apenas pela aplicação de N. Dessa maneira, para produção de trigo com alta qualidade primária, o uso do enxofre pode representar uma necessidade para cultivares modernas de trigo responsivas ao acréscimo de nitrogênio (RODRIGUES e TEIXEIRA, 2010), assim como técnicas de fertilização nitrogenada no tempo e no espaço.

A tecnologia hoje disponível para a produção de trigo no Sul do Brasil foi desenvolvida levando-se em consideração basicamente a produtividade, tornando-se necessário o desenvolvimento de tecnologias, principalmente relacionadas com a adubação, voltadas para a produção de trigos de alta qualidade industrial.

Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo verificar o comportamento de uma cultivar de trigo melhorador a aplicação de nitrogênio e enxofre em cobertura, tanto no que se refere aos componentes de rendimento e produtividade quanto nas características de industriais da farinha.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ASPECTOS ECONÔMICOS DA CULTURA DO TRIGO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é o terceiro cereal mais produzido mundialmente, representando em torno de 30% da produção de grãos, superado apenas pelo milho. O cereal é empregado na alimentação humana (farinha, macarrão, bolos, pães, biscoitos, etc.), na elaboração de produtos não alimentícios (misturas adesivas, colas, agentes surfactantes, embalagens solúveis, álcool, fármacos, cosméticos, etc) e na alimentação animal, em forma de grãos, componente de rações ou ainda na forma de forragem (DE MORI et al., 2007).

Estima-se que na safra 2015 serão produzidas em torno de 725 milhões de toneladas no mundo, sendo a União Européia (21,47%) e a China (17,38%) os maiores produtores mundiais (USDA, 2015). No Brasil, estima-se para 2015 uma produção 6,8% superior em relação à anterior, chegando a 5,90 milhões de toneladas (ABITRIGO, 2015), ainda muito inferior ao consumo, previsto em 11,5 milhões de toneladas. Os estados do Paraná e Rio Grande do Sul são os principais produtores brasileiros, respondendo por praticamente 90% da produção nacional (CONAB, 2015).

No Paraná, a cultura do trigo ocupou, em 2014, uma área de aproximadamente 1,36 milhão de hectares (CONAB, 2015). Segundo levantamentos da ABITRIGO (2013), a região sul concentra em torno de 75% dos moinhos em atividade no Brasil, sendo que praticamente 43% destes são paranaenses. Isso demonstra a proximidade entre o setor produtivo e moageiro no sul do Brasil, o que beneficia a logística da cadeia produtiva de trigo.

O trigo paranaense é colhido antes do trigo do Rio Grande do Sul e Argentina, o que possibilita ser comercializado com antecedência, garantindo melhores preços (BRUM e MULLER, 2008). Além disso, também é favorecido pela proximidade com a Região Sudeste do Brasil, maior centro consumidor do país, permitindo o escoamento da produção com menores custos de transporte. No entanto, apesar de apresentar condições favoráveis ao cultivo do trigo, historicamente o Brasil produz em torno da metade de seu consumo interno,

tornando-se um dos maiores importadores mundiais desse cereal, o que demonstra o grande potencial econômico que a cultura possui, uma vez que sejam atendidas as exigências dos moinhos.

## 2.2 COMPOSIÇÃO DO GRÃO E FARINHA DE TRIGO

A composição química do grão de trigo combinada as suas propriedades estruturais, altera as características funcionais tecnológicas e define a qualidade da farinha de trigo (SCHEUER et al., 2011). Ainda segundo este autor, a farinha de trigo é composta de amido (70 a 75%), água (12 a 14%), proteínas (8 a 16%), polissacarídeos não amiláceos (2 a 3%), lipídeos (2%) e cinzas (1%). Assim, diferenças nestas proporções, determinadas pelo genótipo e fatores de ambiente e manejo, influenciarão a qualidade da farinha de trigo (MORITA et al., 2002).

As proteínas apresentam maior importância na determinação das propriedades funcionais das farinhas feitas de trigo, em especial proteínas formadoras de glúten (PALLARÉS et al., 2007). A composição das proteínas de reserva é inerente ao genótipo de trigo, estando relacionada à sua qualidade tecnológica e, conseqüentemente, a sua utilização final (RODRIGUES et al., 2010). Contudo, o conteúdo de proteínas dos grãos é influenciado por práticas culturais (especialmente pela adubação) e condições de ambiente (MIRANDA et al., 2011).

As proteínas do grão de trigo podem ser divididas em proteínas formadores de glúten ou de armazenamento, que representam cerca de 75% a 80% do total e aquelas que não formam glúten, que se constituem em maior parte por enzimas (MIRANDA et al., 2011), que estão presentes principalmente no embrião do grão de trigo e possuem funções metabólicas e estruturais. As proteínas formadoras de glúten são formadas por porções de gliadinas e gluteninas (PALLARÉS et al., 2007), fundamentais do ponto de vista tecnológico, sendo responsáveis pelas características funcionais únicas das massas produzidas com farinha de trigo.

Dessa forma, glúten é um nome genérico dado ao conjunto de proteínas insolúveis do trigo capazes de formar massa, ou seja, formando uma rede proteica do glúten ligada aos grânulos de amido quando a farinha de trigo é misturada com água (RAO, 1989). Por isso, entender as propriedades mecânicas do

glúten do trigo é entender o comportamento do processamento dos produtos elaborados com trigo (BELTON, 2005). A composição qualitativa e quantitativa das frações de glutenina e de gliadina do grão influenciam as propriedades reológicas da massa de trigo, mais especificamente a matriz viscoelástica do glúten (PRUSKA-KEDZIOR et al., 2008).

O incremento da concentração proteica dos grãos afeta indiretamente a qualidade de panificação (GUTKOSKI et al., 2002; CAMPILLO et al., 2010). De uma maneira geral, a adubação nitrogenada em cobertura incrementa a força do glúten (W), bem como o teor de proteína da farinha, especialmente quando se trata de fertilizações tardias de N (CAZETTA et al., 2008; MORAES et al., 2013).

### 2.3 QUALIDADE INDUSTRIAL DE TRIGO

Os moinhos buscam adquirir trigo com qualidade tecnológica consistente (lotes uniformes, com segregação de cultivares de qualidade semelhante e sem mistura com grãos germinados) e elevado rendimento de farinha (MIRANDA et al., 2011). Além disso, a qualidade tecnológica do trigo ou de sua farinha deve ser adequada ao uso final. Um levantamento realizado pela ABITRIGO (2013), mostrou que no mercado brasileiro, entre 2005 e 2012, a farinha de trigo foi destinada a panificação (55,3%), ao uso doméstico (13,3%), a massas alimentícias (14,1%) a biscoitos (10,1%) e a outros segmentos (7,2%).

A relação entre fatores ambientais e os diferentes genótipos, repercute nas propriedades funcionais (GEORGET et al., 2008) e na qualidade de processamento do trigo, como moagem e elaboração dos produtos (CARCEA et al., 2006), mais notadamente com relação à variação do grau de elasticidade do glúten, o que afeta especialmente a fermentação dos pães (SHEWRY et al., 1998).

As exigências do mercado consumidor por trigos com qualidade de panificação superior aumentaram no Brasil, fato sustentado legalmente pela publicação da Normativa Nº 38, de 30 de Novembro de 2010 (BRASIL, 2010) e da Resolução – RDC Nº 7 de 18 de fevereiro de 2011 (BRASIL, 2011), que determinaram os novos padrões de comercialização do trigo brasileiro. A Tabela 1 demonstra os valores dos parâmetros de qualidade industrial para classificação dos

tipos de trigo em cada categoria.

**Tabela 1.** Valores mínimos para classificação de trigo no Brasil destinado a moagem e outras finalidades, de acordo com a Instrução Normativa nº 38 do MAPA de 30 de novembro de 2010. UTFPR, Campus Pato Branco – PR, 2015

Classes	Força de Glúten – W (expresso em $10^{-4}$ J)		Estabilidade (minutos)	Número de queda (segundos)
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).

Na divisão dos tipos de trigo em classes comerciais, consideram-se a Força de glúten – W ( $\times 10^{-4}$  Joules), a Estabilidade (minutos) e o Número de queda (segundos). Farinha com alta capacidade de absorção de água, boa tolerância ao amassamento, glúten de força média a forte e alta concentração de proteína, são fundamentais para sua qualidade (MÓDENES et al., 2009).

Existem vários testes para avaliação da qualidade tecnológica de trigo e de sua farinha (MIRANDA et al., 2011), os quais incluem testes realizados com o grão de trigo (umidade, peso hectolitro, peso de mil sementes, dureza do grão, rendimento de farinha), com a farinha (umidade, cinza, proteína, glúten, número de queda, cor) e testes de natureza preditiva para avaliar o desempenho da farinha de trigo (mixografia, alveografia, extensografia, farinografia, etc) (MITTELMANN et al., 2000).

A caracterização do trigo é definida por aspectos estruturais, de processamento e composição química, permitindo indicá-lo à utilização tecnológica adequada, como é o caso da panificação (SCHEUER et al., 2011). A avaliação da qualidade tecnológica de trigo é fundamental, uma vez que envolve fatores econômicos e políticos. Segundo Miranda et al. (2008), a caracterização do trigo e da farinha quanto aos aspectos tecnológicos é determinante para a adequada comercialização do trigo brasileiro para os diversos segmentos do complexo tritícola.

## 2.4 EFEITO DO NITROGÊNIO E SEU PARCELAMENTO SOBRE A PRODUTIVIDADE DO TRIGO

O nitrogênio é um dos nutrientes mais requeridos pela cultura do trigo (WENDLING et al., 2007; KUTMAN et al., 2011), entretanto, aumenta os custos de produção. O estabelecimento de práticas de manejo que otimizem os insumos aplicados, especialmente de fertilizantes, pode contribuir para aumentar a produtividade nas lavouras de trigo e reduzir o custo de produção (ZAGONEL et al., 2002; BASSO et al., 2010; TIAN et al., 2011).

O nitrogênio exerce importante função nos processos bioquímicos da planta, sendo constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucléicos, fitocromos e clorofila (CAPPELLARI et al., 2009). Sua deficiência afeta a produção de biomassa e a eficiência de uso da radiação solar, com grande efeito sobre o rendimento de grãos e seus componentes (HEINEMANN et al., 2006; XU et al., 2012). A adoção de doses elevadas de nitrogênio resulta em um desenvolvimento mais vigoroso (perfilhamento e fase reprodutiva), fundamental na definição de meristemas (ESPINDULA et al., 2010), resultando no melhor desempenho dos componentes de produção, especialmente para o número de perfilhos férteis e número de grãos por espiga (BENIN et al., 2012).

Sangoi et al. (2007) relatam que a aplicação de nitrogênio no momento adequado pode aumentar a eficiência de uso do nitrogênio pelo trigo, incrementando o número de grãos por espiga e o número de espigas por área. Para que os componentes de rendimento tenham sua expressão favorecida, Bredemeier e Mundstock (2001) preconizam que o nitrogênio deve ser disponibilizado às plantas de trigo preferencialmente entre a emergência e a emissão da sétima folha do colmo principal (espigueta terminal), sendo essa última a fase crítica para determinar o número de colmos que sobrevivem e produzem espigas produtivas.

O manejo inadequado da adubação nitrogenada, ou sua não utilização, tem limitado a elevação da produtividade das lavouras de trigo no Brasil. Em algumas condições mais favoráveis de ambiente e manejo para a cultura do trigo (boa distribuição de chuvas e solos com altos teores de matéria orgânica, por exemplo), há relatos da utilização sem respostas significativas em rendimento de grãos entre doses de 90 a 225 kg ha<sup>-1</sup> de N (TEIXEIRA FILHO et al., 2010; PENCKOWSKI et al., 2009). Ainda, a utilização de altas doses de adubação nitrogenada pode elevar os custos de produção a ponto de tornar a cultura

economicamente inviável (LADHA et al., 2005; FOULKES et al., 2009; BARRACLOUGH et al., 2010).

A utilização de cultivares de trigo com alto potencial produtivo de grãos e a adubação nitrogenada são essenciais para a obtenção de alta produtividade. Todavia, a adubação nitrogenada requer cuidados quanto à época e às doses de aplicação (TEIXEIRA FILHO et al., 2010). Heinemann et al. (2006) encontraram resposta até a dose de 156 kg ha<sup>-1</sup> de N, com produtividade de grãos de 6.472 kg ha<sup>-1</sup> em trigo sob irrigação. Comumente, as melhores produtividades são registradas quando as doses de N variam de 70 a 120 kg ha<sup>-1</sup> (FREITAS et al., 1995; VIEIRA et al., 1995; TEIXEIRA FILHO et al., 2007; ESPINDULA et al., 2010).

Estima-se que apenas 40 a 60% do nitrogênio mineral aplicado é absorvido pela cultura do trigo e essa percentagem diminui com uso de doses mais elevadas, o que pode indicar possíveis resultados ao parcelamento da adubação de cobertura (BARRACLOUGH et al., 2010; GÓRNY, et al., 2011). O parcelamento da adubação nitrogenada proporciona uma maior eficiência na assimilação do nutriente pelo trigo, diminuindo as perdas por lixiviação em anos chuvosos e por volatilização em anos secos (MUNDSTOCK, 1999).

Em trabalho realizado com parcelamento da fertilização nitrogenada em trigo, Moraes et al. (2013) demonstram não haver respostas em produtividade para aplicações de N além do perfilhamento. Porém, os componentes relacionados a qualidade industrial apresentaram resultados promissores para aplicações tardias de N (florescimento). Para Ooro et al. (2011), a divisão do N entre a semeadura e a cobertura no perfilhamento foi necessária para obter uma adequada produtividade e atributos de qualidade industrial de trigo. Também, avaliando diversas proporções de cobertura com N, Costa et al. (2013) não obtiveram respostas entre aplicações no perfilhamento e/ou emborrachamento, indicando que pode-se atrasar o momento da cobertura para visar uma maior qualidade dos grãos.

Alguns estudos indicam que o parcelamento da adubação nitrogenada resulta em maior recuperação do nutriente pela cultura e maior produtividade, quando comparados com a aplicação numa única vez (SANGOI et al., 2007; MEGDA et al., 2009). Segundo Arenhardt (2012), avaliando o melhor momento de aplicação de N em cobertura, houve estabilidade de resultados dos componentes de

produção e produtividade para 10 e 60 dias após a emergência, para resteva de milho e soja, respectivamente.

Verifica-se que há bons resultados em termos de rendimento de grãos para aplicações de N no perfilhamento e início de alongação. No entanto, fertilizações nitrogenadas próximas ao florescimento remetem a bons resultados de qualidade de trigo, sem reflexos na produtividade (MI et al., 2000; GARRIDO-LESTACHE et al., 2004; SANGOI et al., 2007).

Segundo Scalco et al. (2002), a adubação nitrogenada faz-se necessária em virtude da quantidade insuficiente de nitrogênio que o solo fornece para o adequado crescimento e desenvolvimento das culturas, sendo necessário fornecer esse nutriente na forma de fertilizantes.

A maior parte do nitrogênio acumulado nos grãos é absorvido antes da antese e, após é remobilizado para a espiga, onde é usado na síntese de proteínas (TRIBOI e TRIBOI-BLONDEL, 2002). A translocação de N para a espiga acontece via aminoácidos produzidos pela quebra de proteínas presentes nas folhas (VIERSTRA, 1996), explicado pela alta correlação entre o conteúdo de proteína dos grãos com a concentração de aminoácidos livres na folha bandeira durante o enchimento de grãos (BARNIEX e GUITMAN, 1993).

Como a absorção de N depende da taxa de crescimento dos tecidos, estratégias para o aumento da biomassa antes da antese podem representar um mecanismo de aumento do teor de proteína nos grãos sem restrição a produtividade. Em trigo, vários estudos relacionam a disponibilidade de nitrogênio ao aumento de proteínas e qualidade dos grãos (CAMPILLO et al., 2010; DOTLAČIL et al., 2010; MIRANDA et al., 2011; GAO et al., 2012). Em estudo realizado na região sudoeste do Paraná, Pinnow et al. (2013) concluíram que a utilização de doses de 80 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio contribuem em parâmetros indicativos de qualidade industrial.

A quantidade de nitrogênio aplicada em cultivares de alto rendimento e porte médio/baixo recomenda-se 90 a 120 kg ha<sup>-1</sup> do nutriente e para cultivares de porte alto e/ou com suscetibilidade ao acamamento, de 50 a 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (PAULETTI e COSTA, 2002). Segundo Penckowski et al., (2010), o aumento da dose de nitrogênio aumentou a força de glúten e quantidade de glúten úmido e seco, e diminui o peso do hectolitro e número de queda na cultivar BRS 177. Segundo

Ooro et al. (2011), o teor de proteína na farinha de trigo responde ao aumento da dose de N, porém, com redução ao rendimento de moagem do trigo e peso hectolitro.

Para Cazetta et al. (2008), a adubação nitrogenada incrementou a força geral do glúten (W), bem como o teor de proteína da farinha e reduziu a relação P/L, influenciando positivamente na qualidade da farinha para panificação. Neste estudo, para as diversas cultivares testadas, as doses de N aumentaram linearmente a força de glúten, sendo a dose máxima testada de 120 kg ha<sup>-1</sup>, o que demonstra potencial de aumento de alguns parâmetros tecnológicos com doses ainda maiores. No entanto, Teixeira Filho et al. (2010) determinaram a dose de 121,5 kg ha<sup>-1</sup> como a maior resposta produtiva do trigo, não justificando o uso de maiores doses em situações onde a venda do trigo não é remunerada pela sua qualidade industrial.

## 2.5 EFEITO DO NITROGÊNIO E DO ENXOFRE SOBRE A QUALIDADE DO TRIGO

Além do nitrogênio, outro nutriente fundamental para qualidade tecnológica de trigo é o enxofre, pois é fundamental na formação de clorofila (DUKE e REISENAUE, 1986), é constituinte de proteínas formadoras de glúten e estabiliza polímeros de gluteninas por pontes de enxofre, que determinam a elasticidade da massa (SHEWRY, 1995; WIESER et al., 2004; RODRIGUES e TEIXEIRA, 2010).

As principais plantas cultivadas podem ser reunidas de acordo com a necessidade de S em três grupos: as que necessitam de grandes quantidades para o seu desenvolvimento (brássicas e liliáceas); as que necessitam de nível intermédio (leguminosas, algodão e girassol); e as que apresentam baixa necessidade (gramíneas) (Jordan e Elming, 1958). O SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> extraído do solo com o método do Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> é o método oficial utilizado pela CQFS-RS/SC (2004). Para a maioria das culturas adotam-se três classes de disponibilidade: baixo < 2 mg dm<sup>-3</sup>, médio 2-5 mg dm<sup>-3</sup> e suficiente > 5 mg dm<sup>-3</sup>, sendo este último considerado o teor crítico para as culturas em geral. Para as culturas exigentes, como as leguminosas, brássicas e liliáceas, o teor crítico é de 10 mg dm<sup>-3</sup>.

Segundo Alvarez et al. (2007), em geral a quantidade de S requerida

pelas plantas aproxima-se ou até supera a exigência nutricional de fósforo. O enxofre é importante não somente como nutriente, mas também em mecanismos de defesa da planta contra pragas e insetos, fazendo parte de metabólitos secundários, muitos dos quais contendo N e S em sua estrutura (STIPP e CASARIN, 2010). Girma et al. (2005), ao compararem o uso de enxofre elementar e gesso agrícola em trigo, obtiveram resultados significativos em rendimento de grãos e produção de fitomassa, com evidente vantagem ao uso de gesso. Ao estudar a influência da aplicação de enxofre em aspectos tecnológicos de trigo, Jarvan et al. (2008) obtiveram melhorias nos principais parâmetros de qualidade da farinha, como estabilidade, volume do pão, aumento de glúten úmido e do número de queda.

Respostas de qualidade de trigo a fertilização com enxofre geralmente são mais comuns do que respostas em termos de produção de grãos (ZHAO et al., 1996), porém, não afetam diretamente a concentração de proteínas no grão, mas a fração de proteínas relacionadas a extensibilidade. A deficiência de S reduz o tamanho do grão e a qualidade de panificação, pois reduz a viscoelasticidade da massa, deixando-a rígida e não elástica (GYÖRI, 2005; RYANT e HRIVNA, 2004).

As qualidades reológicas da massa melhoram com a aplicação de S na cultura, apresentando alta correlação entre o volume do pão e o conteúdo de enxofre nos tecidos (SINGH, 2003), sendo que alguns estudos demonstram que a qualidade da panificação possui melhor relação com o teor de S no grão do que com o teor de N (ZHAO et al., 1999; McGRATH, 2003).

Um efeito sinérgico entre N e S parece aumentar a assimilação destes nutrientes e seus teores nos grãos de trigo, podendo assim melhorar a qualidade de panificação. Quando aplicados simultaneamente, N e S aumentaram o teor de proteína da farinha, extensibilidade, força massa (W) e volume do pão (TEA et al., 2007). No entanto, Erekul et al. (2012), ao testar a interação entre N e S concluíram que para condições mediterrânicas não há vantagens no uso de enxofre, podendo este investimento ser realizado em aumento de nitrogênio, pois foram encontrados resultados lineares até a dose de 210 kg ha<sup>-1</sup> de N.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O presente trabalho de pesquisa foi dividido em três ensaios de campo, realizados em diferentes locais. Foram implantados dois experimentos na região sudoeste do Paraná (Realeza e Santa Isabel do Oeste) e outro na região oeste do estado (Capitão Leônidas Marques), na safra de inverno 2013, em propriedades rurais pertencentes a produtores cooperados da Coopavel Cooperativa Agroindustrial. Segundo a classificação de Köppen, em Realeza e Santa Isabel do Oeste predomina o clima Cfb e Cfa para Capitão Leônidas Marques (MAACK, 1968).

Foi realizada, previamente, a amostragem de solo de todas as áreas, para caracterização química e física de cada local, em coletas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade. A época de semeadura foi realizada em conformidade com o zoneamento agrícola de cada cidade. A Tabela 2 apresenta as coordenadas de localização e a altitude da área dos experimentos, assim como as características físicas do solo de cada local.

**Tabela 2.** Localização geográfica e características físicas do solo<sup>(1)</sup> do local dos experimentos. UTFPR, Campus Pato Branco – PR, 2015

Local (Paraná)	Latitude Sul	Longitude Oeste	Altitude m	Areia ----- %	Silte ----- %	Argila ----- %
Capitão L. Marques	25°29'49"	53°37'16"	382	15	20	65
Realeza	25°42'44"	53°23'36"	467	17	18	65
Santa Isabel do Oeste	25°49'19"	53°29'50"	493	15	25	60

<sup>(1)</sup> Efetuadas no Laboratório da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola, Cascavel / PR.

O solo da microrregião onde estão inseridos os municípios de Capitão Leônidas Marques, Realeza e Santa Isabel do Oeste é classificado como Latossolo Vermelho distroférico, de textura argilosa (EMBRAPA, 2006). As lavouras escolhidas para a instalação dos experimentos são conduzidas sob semeadura direta a mais de dez anos. As áreas de Realeza e Santa Isabel do Oeste possuem histórico de sucessão de soja/trigo nos últimos cinco anos, já em Capitão Leônidas Marques nesse mesmo período, foi cultivada soja nas safras de verão e alternou-se trigo e milho safrinha nas safras de inverno.

Na Tabela 3 são apresentadas as características químicas do solo de

cada experimento.

**Tabela 3.** Resultados da análise química de solo<sup>(1)</sup> das áreas experimentais, antes da implantação dos experimentos. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015

Prof. cm	pH CaCl <sub>2</sub>	P --- mg dm <sup>-3</sup> ---	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ---	H + Al <sup>+</sup> -----	Al <sup>3+</sup> -----	Ca <sup>2+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	Mg <sup>2+</sup> -----	K <sup>+</sup> -----	T -----	V ----- % -----	MO -----
Capitão Leônidas Marques											
00-10	4,9	17,9	2,58	6,21	0,04	5,68	2,01	0,51	14,41	56,9	3,96
10-20	5,0	3,9	3,75	5,76	0,04	4,83	2,02	0,46	13,07	55,9	3,48
20-40	5,3	1,3	7,97	4,61	0,00	3,97	1,73	0,30	10,61	56,5	1,93
Realeza											
00-10	4,7	7,9	2,81	6,69	0,08	5,49	1,98	0,31	14,47	53,8	3,86
10-20	5,0	4,6	4,22	5,76	0,04	6,13	1,98	0,22	14,09	59,1	3,19
20-40	5,1	1,7	10,07	4,96	0,04	5,06	1,55	0,12	11,69	57,6	2,05
Santa Isabel do Oeste											
00-10	4,7	22,5	0,23	8,36	0,61	3,20	1,91	0,16	13,63	38,7	4,05
10-20	4,6	5,6	0,94	8,36	0,65	3,21	1,77	0,09	13,43	37,7	3,67
20-40	4,4	2,1	2,11	9,00	1,05	2,03	1,21	0,06	12,30	26,8	2,97

\*P: Fósforo (Mehlich 1); S: Enxofre – SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Fosfato Monocálcio); H + Al: Acidez potencial (Tampão SMP); Al<sup>3+</sup>: Alumínio; Ca<sup>2+</sup>: Cálcio; Mg<sup>2+</sup>: Magnésio (KCl); K<sup>+</sup>: Potássio; T: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação de bases; MO: Matéria orgânica (Dicromato).

<sup>(1)</sup> Efetuadas no Laboratório da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola, Cascavel / PR.

### 3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os ensaios foram implantados em delineamentos experimentais de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 x 4, com três repetições, totalizando 36 unidades experimentais, repetidas em três locais distintos. Cada parcela possuiu aproximadamente 25 m<sup>2</sup>, onde descartou-se 0,50 m das bordaduras, perfazendo uma área útil (unidade de observação) de 20 m<sup>2</sup>.

O primeiro fator, com três níveis, refere-se a duas fontes de enxofre com diferentes padrões de liberação de sulfato (testemunha sem aplicação – S0; sulfato de cálcio ou gesso agrícola – S1; enxofre elementar pastilhado – S2), aplicados a lanço no início do perfilhamento, na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

Segundo o fornecedor, o sulfato de cálcio (gesso agrícola) tem garantia mínima de 14% de enxofre (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) e 17% de cálcio, sendo esta forma de enxofre caracterizada por sua liberação imediata para as plantas, pois no solo o sulfato de cálcio é hidrolisado rapidamente liberando íons de sulfato – SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (HOROWITZ, 2003). O fertilizante à base de enxofre elementar na formulação pastilhada, contendo 900 g de i.a. kg<sup>-1</sup> do produto comercial (ou seja, concentração de 90% de

S), possui características de liberação gradativa, pois o enxofre elementar aplicado ao solo deve ser oxidado para se transformar em sulfato e ficar disponível às plantas (JANZEN e BETTANY, 1987). O processo de oxidação pode ser alcançado por fatores abióticos, no entanto são reações realizadas por microorganismos as mais importantes nesse processo (HOROWITZ e MEURER, 2006).

O segundo fator, com quatro níveis, se refere a diferentes formas de aplicação de nitrogênio em cobertura (testemunha sem aplicação – N0; 100% da dose no início do perfilhamento – N1; 100% da dose no início da alongação – N2; 50% da dose no perfilhamento e 50% da dose no início da alongação – N3). A dose de nitrogênio aplicada em cobertura foi de 80 kg ha<sup>-1</sup>, utilizando-se como fonte uréia revestida com inibidor de urease (41% de N).

### 3.3 CONDUÇÃO DOS ENSAIOS

Os experimentos foram implantados em sistema de semeadura direta, sobre resteva de soja e em condições satisfatórias de umidade do solo. Utilizaram-se semeadoras - adubadoras de discos, com espaçamento entre linhas de 17,0 cm e deposição de sementes a 2,0 cm de profundidade. A densidade de semeadura foi padronizada para atingir uma população final de 400 plantas m<sup>-2</sup> nos três experimentos. Os experimentos foram conduzidos com a adubação de base de 250 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante de formulação 08.20.20 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) marca Coopavel.

Na Tabela 4 é apresentado um resumo dos principais manejos realizados em cada experimento.

**Tabela 4.** Datas referentes à semeadura, manejos de adubação em cobertura e colheita de cada experimento. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015

Local	Semeadura	1º manejo <sup>(1)</sup>	2º manejo <sup>(2)</sup>	Colheita
Capitão L. Marques	11/05/13	01/06/13 (17 DAE <sup>(3)</sup> )	15/06/13 (31 DAE)	15/09/13 (123 DAE)
Realeza	25/05/13	09/06/13 (11 DAE)	22/06/13 (24 DAE)	26/09/13 (120 DAE)
Santa Isabel do Oeste	02/06/13	17/06/13 (11 DAE)	30/06/13 (24 DAE)	02/10/13 (118 DAE)

<sup>(1)</sup> Primeira aplicação de N em cobertura e aplicação de S, referente ao início do perfilhamento;

<sup>(2)</sup> Segunda aplicação de N em cobertura, referente ao início da alongação. <sup>(3)</sup> Dias após a emergência.

Foram usadas sementes tratadas com inseticida e fungicida registrados para a cultura. O manejo fitossanitário foi realizado mediante pulverizações tratorizadas de defensivos agrícolas, conforme as necessidades individuais de cada

experimento, sendo as aplicações devidamente acompanhadas, sempre respeitando as condições climáticas satisfatórias.

Nos experimentos foi adotada a cultivar de trigo CD 150, que possui ciclo precoce, porte baixo, boa tolerância às principais doenças, elevado potencial produtivo e característica industrial de trigo melhorador. Ciclo médio obtido na região é de 120 dias da emergência a colheita. É uma cultivar com boas características agronômicas e é bastante responsiva ao aporte de tecnologia (investimento) na condução da lavoura.

### 3.4 AVALIAÇÕES

#### 3.4.1 Índice relativo de clorofila (IRC)

Os teores totais de clorofila ou Índice Relativo de Clorofila (IRC), foram mensurados na fase de pleno florescimento das plantas, com leituras realizadas em folhas saudáveis e completamente expandidas, a partir da amostragem de 10 plantas por unidade experimental. Utilizou-se o medidor eletrônico de clorofila óptico portátil, modelo ClorofiLOG CFL 1030 (marca Falker). Os dados obtidos no aparelho foram transferidos para o programa Clorofilog<sup>®</sup> que forneceu as médias das amostras, que variam de 0 a 100..

#### 3.4.2 Análise Foliar

Para verificar a situação nutricional das plantas, foi efetuada uma coleta de folhas para análise de macronutrientes. Para isso, no florescimento das plantas foram coletadas 20 folhas saudáveis e completamente expandidas por unidade experimental, as quais foram levadas para secagem em estufa a 60 °C por 72 horas, com posterior moagem em moinho tipo Wiley. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análises Agronômicas Unithal, sediado na cidade de Maringá/PR. Os nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) foram quantificados segundo metodologia da

EMBRAPA (1999), com os resultados obtidos expressos em percentagem (%).

Devido aos procedimentos analíticos exigidos pelo laboratório, optou-se pela reunião das três repetições de cada tratamento em uma única amostra, em virtude da pequena quantidade de material obtido após secagem e moagem.

### 3.4.3 Caracteres Agronômicos

- Massa seca de planta inteira (MS): coleta da parte aérea das plantas no momento da maturação fisiológica, sendo realizada a coleta de em um metro linear na unidade de observação, extrapolando sua massa para  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

- Número de espigas por metro quadrado (NE): na maturação, foi realizada contagem do número de espigas em dois metros lineares da parcela útil, extrapolando o valor para espigas por metro quadrado;

- Massa do hectolitro (MH): determinada em aparelho da marca Dalle Molle, segundo método descrito pelo fabricante do equipamento e os resultados são expressos em  $\text{kg hL}^{-1}$ ;

- Rendimento de grãos (RG): realizou-se através da colheita e trilha da parcela útil das unidades experimentais, retirando as impurezas e ajustando a umidade em 13% (base úmida), extrapolando o rendimento de grãos para  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

### 2.4.4 Características industriais do trigo

As análises relacionadas à extração e qualidade industrial da farinha foram realizadas no laboratório do moinho de trigo da Coopavel Cooperativa Agroindustrial, na cidade de Cascavel – PR. Para obtenção da quantidade necessária de farinha para as determinações, utilizou-se aproximadamente 1000 g de grãos de trigo de cada parcela, devidamente secos e sem impurezas. Não foi possível avaliar os experimentos de Capitão Leônidas Marques e Santa Isabel do Oeste, pois as parcelas não produziram o mínimo de grãos de trigo necessários para as análises.

- Extração de farinha (EF): Foi realizada em moinho experimental modelo

VG 2000i, marca Vitti Molinos, de acordo com o método número 26-10 da AACC (1999), obtendo-se a produção relativa de farinha e sêmola de cada tratamento, expressa em  $\text{gr kg}^{-1}$ , desconsiderando o farelo de trigo residual;

- Rendimento de farinha (RF): resultado da multiplicação entre rendimento de grãos (RG) e extração de farinha (EF), expresso em  $\text{kg ha}^{-1}$  de farinha;

- Colorimetria: Foi realizado com o colorímetro de Minolta, modelo CR-410, avaliando a cor da farinha de trigo. O resultado foi expresso em CIELAB, que é o sistema de cor mais utilizado para alimentos, realizando as leituras das amostras por reflectância (OLIVEIRA, 2003). Os parâmetros de cor são: L, luminosidade (0=preto e 100=branco); a e b, coordenadas de cromaticidade (-a = verde, +a = vermelho; -b = azul, +b = amarelo);

- Glúten úmido (GU): o teor de glúten úmido da farinha de trigo (expresso em porcentagem) foi determinado do segundo o método 38-10 da AACC (1995), mediante aparelho da marca Perten, modelo Glutomatic 2200, com lavagem automática do glúten pelo próprio aparelho, utilizando-se amostra de dez gramas de farinha com umidade corrigida para 13%, realizado em duplicata;

- Alveografia: as características viscoelásticas da farinha de trigo foram determinadas no alveógrafo marca Chopin, modelo NG (Villeneuve-la-GarenneCedex, França) utilizando o método n° 54-30 da AACC (1995). Os seguintes parâmetros foram obtidos nos alveogramas: tenacidade ou resistência a extensão (P), que é a pressão máxima necessária para expandir a massa (mm); extensibilidade da massa (L), que é a capacidade da massa ser estendida sem se romper, onde é medido o comprimento da curva (mm); P/L é a relação entre tenacidade e extensibilidade, indicando o equilíbrio da massa; força de glúten (W), que representa o trabalho de deformação necessário para expandir a bolha até a ruptura, expressa em  $10^{-4}$  J. Ainda, na mesma análise, foram obtidos os valores para índice de elasticidade (IE) e índice de entumescimento (G), expressos em porcentagem.

### 3.5 ANÁLISE DOS DADOS

Após a tabulação dos dados, os mesmos foram testados quanto à

homogeneidade e a normalidade dos erros do modelo matemático, via testes de Bartlett e Lilliefors (LITTLE e HILLS, 1978). Atendidos os pressupostos iniciais, os dados foram submetidos à análise de variância com teste F. Havendo significâncias quanto aos tratamentos e/ou suas interações, as médias foram comparadas pelo teste de agrupamento Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Este teste visa à separação de médias de tratamentos em grupos distintos, através da minimização da variação dentro e maximização da variação entre grupos. Os resultados são facilmente interpretados devido à ausência de ambiguidade, resultando em maior objetividade e clareza (BORGES e FERREIRA, 2003).

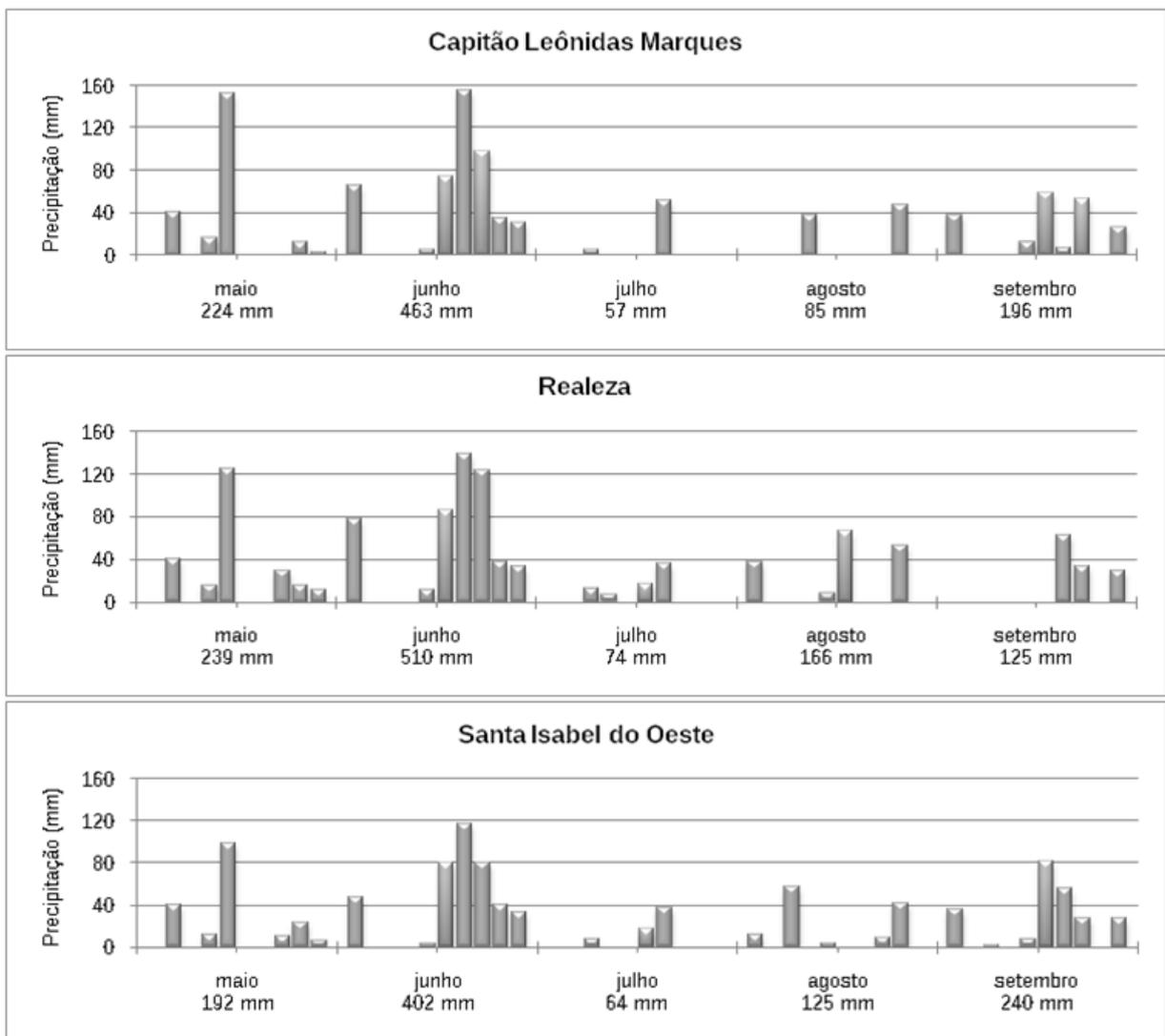
Realizou-se uma análise de trilha (WRIGHT, 1921), considerando como variável principal o rendimento de grãos e variáveis explicativas o índice relativo de clorofila, massa seca de plantas, número de espigas por metro quadrado e massa do hectolitro. Ainda, foi feita uma análise de trilha dos parâmetros de qualidade industrial, onde foi considerada como variável principal a força do glúten e variáveis explicativas teor de glúten úmido, tenacidade, elasticidade, índice de elasticidade, extração de farinha e cor da farinha (luminosidade – L e coordenadas de cromaticidade – a e b). Também foram realizadas análises de correlação canônica para verificar as associações existentes entre o grupo de variáveis de produção agrônômica (grupo I – índice relativo de clorofila, massa seca, número de espigas, massa do hectolitro e rendimento de grãos) com as características industriais do trigo (grupo II – extração de farinha, teor de glúten úmido, índice de elasticidade, relação tenacidade/extensibilidade, força de glúten, cor-L, cor-a e cor-b). Para essas análises utilizaram-se as matrizes de correlação residuais.

As análises estatísticas e de correlação foram geradas através do aplicativo computacional Genes (CRUZ, 2006).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 4.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

O ano agrícola 2013/2013 foi marcado pela ocorrência de grandes acumulados pluviométricos (Figura 1) nos municípios de instalação dos experimentos, especialmente na segunda quinzena do mês de junho. Foram registrados durante o ciclo da cultura 840, 874 e 831 mm de precipitação nos municípios de Capitão Leônidas Marques, Realeza e Santa Isabel do Oeste, respectivamente.



**Figura 1.** Precipitação pluviométrica acumulada a cada três dias para os municípios de instalação dos experimentos, no período compreendido entre maio e setembro de 2013. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015.

Garrido-Lestache et al. (2004), trabalhando com N e S em trigo durante três anos, registraram acentuadas variações de produtividade de grãos e qualidade de panificação em função da precipitação acumulada em cada ciclo; estes autores consideraram a faixa de 500 a 550 mm de precipitação (durante todo o ciclo da cultura) como valores ótimos.

Para o experimento de Capitão L. Marques, as maiores precipitações do mês de junho culminaram com o início da fase de alongação, quando foi realizado o segundo manejo de adubação nitrogenada em cobertura. Já nos experimentos de Realeza e Santa Isabel do Oeste, este período atingiu a cultura ainda na fase de perfilhamento, logo após o primeiro manejo de nitrogênio e aplicação de enxofre. Também registrou-se a ocorrência de diversas geadas de intensidades variadas, atingindo os experimentos em distintas fases de desenvolvimento, devido às diferentes datas de semeadura. As geadas mais significativas do ano de 2013 ocorreram nos dias 23/07, 24/07, 25/07, 15/08 e 27/08, com destaque para os dias 24/07 e 15/08, que prejudicaram a formação dos grãos nos experimentos de Capitão Leônidas Marques e Santa Isabel do Oeste, respectivamente.

Severos danos podem ser causados à cultura quando temperaturas muito baixas (geadas) coincidem com a floração e formação de grãos (MUNDSTOCK, 1998; SCHEEREN et al., 2000). Os danos relacionados a geadas são mais severos em solos saturados com água em relação a solos secos (SZÚCS et al., 2003). Se o conteúdo de água no solo estiver próximo a capacidade de campo, maior será a disponibilidade hídrica para as plantas e as células permanecem hidratadas, potencializando o congelamento (FLOSS, 2004). Essa condição foi bem característica nas geadas dos dias 24/07 e 15/08 nos experimentos de Capitão Leônidas Marques e Santa Isabel do Oeste, respectivamente.

Os experimentos de Realeza e Santa Isabel do Oeste não foram prejudicados nas primeiras geadas registradas (23/07, 24/07 e 25/07), pois a cultura ainda não se encontrava na fase reprodutiva. Segundo Mundstock (1998), nos estádios iniciais de desenvolvimento do trigo a planta mantém o seu ponto de crescimento abaixo da superfície do solo, preservando os tecidos dos efeitos do

congelamento, uma vez que as folhas apresentam alta tolerância ao frio.

Foram observados severos danos no momento do florescimento para o experimento de Capitão Leônidas Marques (24/07) onde, assim como Whaley et al. (2004), constatou-se espigas com falhas na região intermediária, caracterizando danos da formação de geadas no início da antese. Em Santa Isabel do Oeste, houve ocorrência de uma forte geada (15/08) no estágio fenológico de grão leitoso a massa-mole (escalas 11.1 a 11.2 de Feeks-Large), gerando grãos mal formados. Segundo Wendt e Teixeira (1989), temperaturas de  $-3,0^{\circ}\text{C}$  ou menos podem ser letais à espiga de trigo. Ainda, abaixo de  $-2,0^{\circ}\text{C}$  tem-se uma situação letal aos órgãos reprodutivos, não necessariamente havendo danos aos tecidos vegetativos.

#### 4.2 CARACTERES AGRONÔMICOS AVALIADOS

Na Tabela 5 apresenta-se um resumo do quadro de análise de variância conjunta dos caracteres agronômicos avaliados nos experimentos. Observa-se uma produtividade média dos experimentos ( $1615,42 \text{ kg ha}^{-1}$ ) abaixo da média nacional para o ano de 2013, que foi de  $2445 \text{ kg ha}^{-1}$  (CONAB, 2015), explicada pelas condições climáticas adversas registradas no decorrer da condução dos experimentos, prejudicando especialmente os experimentos conduzidos em Capitão Leônidas Marques e Santa Isabel do Oeste.

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância incluindo Graus de Liberdade (GL) e Coeficiente e Variação (CV %) para caracteres agronômicos de trigo, submetido a fontes de enxofre e diferentes manejos de nitrogênio em cobertura. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015

Fonte de Variação	GL	IRC	MS ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	NE ( $\text{m}^2$ )	MH ( $\text{kg hL}^{-1}$ )	RG ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
		Quadrado Médio				
Bloco/Local	6	3,88	720204,55	6550,21	2,79	64947,83
Local (L)	2	1,48 <sup>NS</sup>	47624168,36 <sup>**</sup>	105166,51 <sup>**</sup>	1683,86 <sup>**</sup>	8754729,95 <sup>**</sup>
Nitrogênio (N)	3	550,25 <sup>**</sup>	20848101,80 <sup>**</sup>	23390,00 <sup>**</sup>	3,81 <sup>**</sup>	1907851,93 <sup>**</sup>
Enxofre (S)	2	1,01 <sup>NS</sup>	658051,69 <sup>NS</sup>	327,51 <sup>NS</sup>	2,27 <sup>NS</sup>	198148,00 <sup>*</sup>
L x N	6	30,14 <sup>**</sup>	1399449,20 <sup>NS</sup>	5279,55 <sup>NS</sup>	2,23 <sup>*</sup>	641970,55 <sup>**</sup>
L x S	4	3,78 <sup>NS</sup>	759774,56 <sup>NS</sup>	3660,52 <sup>NS</sup>	0,21 <sup>NS</sup>	122578,55 <sup>*</sup>
N x S	6	2,19 <sup>NS</sup>	2362905,87 <sup>NS</sup>	4638,32 <sup>NS</sup>	0,31 <sup>NS</sup>	86978,00 <sup>NS</sup>
L x N x S	12	3,99 <sup>NS</sup>	910926,54 <sup>NS</sup>	11385,86 <sup>*</sup>	1,56 <sup>*</sup>	46542,31 <sup>NS</sup>
Resíduo	66	3,47	1673913,53	4943,00	0,79	46635,79
Média		38,38	8602,44	502,52	77,33	1615,42
CV %		4,85	15,04	13,99	1,15	13,37

IRC – Índice relativo de clorofila; MS – Massa seca; NE – Número de espigas; MH – Massa do hectolitro. RG – Rendimento de grãos.

\* e \*\* - Significativo a 5% ( $p < 0,05$ ) e 1% ( $p < 0,01$ ) de probabilidade de erro pelo teste F. <sup>NS</sup> – não significativo.

Houve significância quanto aos locais avaliados, os quais serão demonstrados a seguir para fins de discussão, porém não serão comparados estatisticamente entre si, pois não é o objeto do presente trabalho.

Em relação à produtividade de grãos, tem-se interação entre local e manejo de nitrogênio e também do local com as fontes de enxofre utilizadas, não havendo interação significativa entre N e S. Em estudos conduzidos por Zhao et al. (1999) e Tea et al. (2007), as interações entre a adubação nitrogenada e a sulfatada apresentaram resultados inconstantes. A aplicação conjunta de enxofre ( $10 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e nitrogênio ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ) acarretou em aumentos no rendimento de grãos do trigo, com respostas variando de 7,7 a 45,5% de ganhos, dependendo do clima e das condições do solo (JÄRVAN et al., 2008).

Nota-se que em Capitão Leônidas Marques (Tabela 6), a aplicação de N exclusivamente no perfilhamento ( $1366 \text{ kg ha}^{-1}$ ) não diferiu estatisticamente da testemunha ( $1382 \text{ kg ha}^{-1}$ ), sendo interessante o parcelamento ( $1589 \text{ kg ha}^{-1}$ ) ou mesmo a aplicação de N na alongação ( $1590 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Foram registrados 363 mm de precipitação nos dez dias após a aplicação de N no perfilhamento (Figura 1), resultando possivelmente na lixiviação do nitrogênio aplicado, causando perdas de 16,4% no rendimento de grãos em relação à aplicação exclusivamente no início da alongação. A lixiviação de nitrato para profundidades não exploradas pelas raízes é considerada uma das principais formas de perdas de N do sistema (CERETTA e FRIES, 1997; ERREBHI et al., 1998), porém é menos intensa em solos argilosos, em função da menor percolação de água no perfil, o que reduz o arraste de nitrato para camadas inferiores (BORTOLINI, 2000).

**Tabela 6.** Rendimento de grãos de trigo submetido a fontes de enxofre e diferentes manejos de nitrogênio em cobertura em três locais. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015

Manejo de N	Rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ )		
	Capitão L. Marques	Realeza	Santa Isabel do Oeste
Sem N	1382 b	1331 b	951 b
N – Perf.	1366 b	2371 a	1334 a
N – Elong.	1590 a	2476 a	1223 a
N – Parcelado	1589 a	2468 a	1304 a
Fontes de S			
Sem aplicação	1403 a	2019 b	1231 a
Gesso Agrícola	1471 a	2117 b	1208 a
Enxofre elementar pastilhado	1571 a	2349 a	1169 a

Médias seguidas pelas mesmas letras (na coluna) constituem um grupo estatisticamente homogêneo pelo teste Scott-Knott ( $p < 0.05$ ).

Nos experimentos de Realeza e Santa Isabel do Oeste os manejos de adubação nitrogenada diferiram apenas da testemunha, concordando com os resultados de Ros et al. (2003), Teixeira Filho et al. (2010) e Ooro et al. (2011), que não verificaram diferenças na produtividade de grãos de trigo em função da época de aplicação de nitrogênio. No entanto, Garrido-Lestache et al. (2004) e Moraes et al. (2013), aplicando a parte do total de nitrogênio na alongação e/ou floração, obtiveram ganhos produtivos em relação a aplicação total na semeadura ou no perfilhamento, especialmente com doses superiores a 100 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Ainda em relação ao manejo de nitrogênio, no experimento de Realeza (menos afetado por geadas) o grupo superior (N no perfilhamento, N na alongação e N parcelado) foi 83.2% mais produtivo que a testemunha. Mesmo nos experimentos de Capitão e Santa Isabel, afetados pela geada na fase reprodutiva, esta superioridade foi de 15.7% e 35.3%, respectivamente. Isso demonstra a importância do tricultor manter um bom nível de investimento nas áreas cultivadas com trigo, pois mesmo em condições desfavoráveis de clima, o investimento em cobertura nitrogenada tem uma significativa resposta agrônômica.

Houve resposta em produção de grãos à aplicação de enxofre apenas no experimento de Realeza, sendo a aplicação de enxofre elementar pastilhado superior a testemunha e a aplicação de gesso agrícola. Em um estudo realizado no Alabama, Beaton e Wagner (1985) concluíram que a falta de resposta a adubação sulfatada é decorrente da disponibilidade de enxofre a partir de outras fontes, tais como a precipitação, a absorção do enxofre atmosférico, decomposição da matéria orgânica ou a absorção de sulfato do subsolo. Segundo Järvan et al. (2008), diferenças registradas na eficiência da adubação de enxofre em diferentes anos foram causadas primeiramente pelas diferentes condições meteorológicas durante os períodos de crescimento.

Em dois ensaios realizados por Girma et al. (2005), o enxofre elementar também resultou em maiores rendimentos de grãos quando comparado ao sulfato de cálcio. O autor atribuiu os resultados à alta precipitação registrada durante o crescimento das plantas, que possivelmente causou perdas do sulfato liberado pelo gesso agrícola. O enxofre elementar precisa ser oxidado antes de se tornar disponível para as plantas (HOROWITZ, 2003), seja por fatores bióticos ou

abióticos. Rheinheimer et al. (2005) e Osório Filho et al. (2007) não observaram resposta do trigo às doses crescentes de S na semeadura, atribuindo como possível causa a rápida lixiviação do sulfato no perfil do solo (NOGUEIRA e MELO, 2003; OSÓRIO FILHO et al., 2009) para camadas mais profundas do perfil do solo, fora do alcance das raízes, uma vez que conduziram os ensaios em solos arenosos.

Em condições limitantes de enxofre, as culturas não podem alcançar todo o seu potencial em termos de rendimento nem podem fazer uso eficiente de nitrogênio aplicado (SAHOTA, 2006). Erekul et al. (2012) indicam que a fertilização com enxofre se mostrou benéfica para a produtividade de grãos e em alguns parâmetros de qualidade de panificação, porém salientou a necessidade de testar doses acima de 40 kg ha<sup>-1</sup> de enxofre, para se encontrar efeitos mais contundentes.

Seriam esperadas respostas mais consistentes a aplicação de enxofre em um nível superior de rendimento de grãos, uma vez que seria aumentada a demanda geral de nutrientes. Moraes et al. (2013), em rendimentos de grãos superiores a 4000 kg ha<sup>-1</sup>, observaram que a cultivar Quartzzo (mais produtiva) apresentou menor concentração de S no grão em relação a Onix e Mirante. De maneira similar, a cultivar Ônix possui maior teor de S no grão em relação a Mirante, ambas com mesma produtividade, indicando um fator genético de acúmulo de enxofre nos grãos.

Considerando-se os resultados das análises de solo (Tabela 3), poderiam ser esperadas respostas positivas a aplicação de enxofre nos três ambientes, visto que na camada de 0-20 cm, nenhuma análise alcançou o nível de suficiência de 5,0 mg dm<sup>-3</sup> de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> estabelecido pela CQFS-RS/SC (2004). Rheinheimer et al. (2005) constatou que o enxofre presente no solo foi suficiente para suprir as necessidades da cultura do trigo. Caires et al. (2002), obtiveram resposta quadrática à aplicação de gesso em trigo, alcançando o máximo rendimento na dose de 8200 kg ha<sup>-1</sup> de gesso, relatando que o investimento foi inviável, pois o aumento de produtividade em relação a testemunha (420 kg ha<sup>-1</sup>) não recompensou o investimento.

Nas análises de solo realizadas antes da implantação dos experimentos (Tabela 3), verificou-se a formação de um gradiente de concentração de enxofre no perfil, com os maiores teores encontrados justamente na camada

mais profunda (20-40 cm), o que pode vir a dificultar o acesso das raízes a este nutriente. Nos experimentos conduzidos em Capitão Leônidas Marques e Santa Isabel do Oeste, a ocorrência de geadas pode ter suprimido os resultados dos tratamentos com aplicação de enxofre, visto que as diferenças em produtividade são menores em relação ao manejo de nitrogênio.

Para Alvarez (2004), não houve correlação entre o teor de enxofre no solo e o rendimento relativo das culturas da soja e do trigo. No entanto, o autor alerta que o cultivo dos solos sem a reposição do S exportado pode ocasionar deficiência deste nutriente com o passar do tempo, especialmente em áreas com teores baixos de argila e matéria orgânica ou em regiões com altos rendimentos de grãos. Na Argentina, lavouras de trigo cultivadas por longos períodos sem reposição de enxofre, apresentam boa resposta a adubação com doses de 20 a 30 kg ha<sup>-1</sup> de S (CHIAROTTI et al., 2000; GARCÍA et al., 2001).

Na Tabela 7 estão inseridos os resultados da análise foliar de nutrientes de todos os tratamentos. Em geral, para os três experimentos, os teores foliares de cálcio estiveram sempre dentro da faixa de suficiência. No entanto, deve-se ressaltar que os teores foliares de fósforo, potássio e magnésio são muito próximos ou abaixo do limite inferior da faixa de suficiência. Estas comparações são válidas apenas para relatar o estado nutricional das plantas de trigo no momento do florescimento, uma vez que não são amparadas por procedimentos estatísticos. Vale ressaltar a importância do acompanhamento do estado nutricional das plantas via análise de tecido foliar junto a análise química do solo.

Em relação ao teor de enxofre no tecido foliar, o teor crítico para culturas não exigente, como é o caso do trigo, é de aproximadamente 0,10-0,15% (EMBRAPA, 1998; IMSANDE e SCHMIDT, 1998). Acima destes valores, a probabilidade de resposta das plantas a adição de S é pouco provável. Percebe-se que os valores os teores foliares de enxofre variaram de 0,15 a 0,29% nos três experimentos, demonstrando que mesmo em tratamentos sem aplicação de enxofre os teores foliares ficaram acima do limite crítico para essa cultura, o que pode ser atribuído ao aporte de enxofre das camadas inferiores do solo (20 a 40 cm) ou mesmo ao suprimento via matéria orgânica. Em média, as análises de Capitão Leônidas Marques apresentaram teores superiores de enxofre (0,26) em relação à

Realeza e Santa Isabel (0,21 e 0,20, respectivamente), não seguindo a tendência das análises de solo, onde Realeza apresentou os maiores teores (Tabela 3).

**Tabela 7.** Análise foliar<sup>(1)</sup> de trigo dos tratamentos durante o florescimento das plantas, nos três locais de instalação dos experimentos. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015

Manejo de N	Manejo de S	----- % -----					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Capitão Leônidas Marques							
Sem N	Sem S	2,17	0,19	0,64	0,27	0,12	0,23
Sem N	Gesso Agrícola	2,38	0,19	0,81	0,35	0,13	0,22
Sem N	S elementar pastilhado	2,45	0,19	0,89	0,39	0,15	0,24
N – Perfilhamento	Sem S	2,58	0,21	0,84	0,34	0,16	0,28
N – Perfilhamento	Gesso Agrícola	2,70	0,20	0,87	0,42	0,14	0,29
N – Perfilhamento	S elementar pastilhado	2,30	0,21	0,69	0,31	0,14	0,26
N – Elongação	Sem S	2,80	0,20	0,92	0,45	0,19	0,26
N – Elongação	Gesso Agrícola	2,82	0,20	0,81	0,46	0,19	0,24
N – Elongação	S elementar pastilhado	2,84	0,21	0,91	0,33	0,17	0,25
N – Parcelado	Sem S	2,42	0,20	1,03	0,44	0,21	0,24
N – Parcelado	Gesso Agrícola	2,76	0,23	1,05	0,41	0,20	0,28
N – Parcelado	S elementar pastilhado	2,77	0,20	0,81	0,34	0,16	0,27
Realeza							
Sem N	Sem S	2,44	0,17	0,77	0,30	0,10	0,16
Sem N	Gesso Agrícola	2,39	0,19	1,09	0,40	0,13	0,18
Sem N	S elementar pastilhado	2,41	0,19	0,91	0,36	0,14	0,20
N – Perfilhamento	Sem S	2,56	0,20	1,02	0,50	0,19	0,26
N – Perfilhamento	Gesso Agrícola	2,65	0,21	1,13	0,42	0,15	0,20
N – Perfilhamento	S elementar pastilhado	2,70	0,20	0,75	0,38	0,14	0,22
N – Elongação	Sem S	2,42	0,18	0,97	0,34	0,12	0,18
N – Elongação	Gesso Agrícola	2,60	0,20	0,82	0,32	0,10	0,20
N – Elongação	S elementar pastilhado	2,44	0,19	1,05	0,40	0,14	0,24
N – Parcelado	Sem S	2,59	0,21	0,87	0,36	0,14	0,22
N – Parcelado	Gesso Agrícola	2,59	0,20	0,92	0,38	0,12	0,20
N – Parcelado	S elementar pastilhado	2,52	0,21	1,04	0,44	0,15	0,22
Santa Isabel do Oeste							
Sem N	Sem S	2,44	0,18	0,84	0,34	0,13	0,15
Sem N	Gesso Agrícola	2,44	0,19	1,05	0,39	0,18	0,18
Sem N	S elementar pastilhado	2,66	0,19	0,98	0,30	0,13	0,21
N – Perfilhamento	Sem S	2,72	0,21	0,90	0,35	0,18	0,16
N – Perfilhamento	Gesso Agrícola	2,59	0,23	0,81	0,37	0,17	0,21
N – Perfilhamento	S elementar pastilhado	2,60	0,22	0,85	0,37	0,20	0,20
N – Elongação	Sem S	2,89	0,23	0,84	0,50	0,18	0,19
N – Elongação	Gesso Agrícola	2,74	0,22	0,82	0,36	0,17	0,22
N – Elongação	S elementar pastilhado	2,94	0,22	0,79	0,43	0,17	0,19
N – Parcelado	Sem S	2,97	0,23	1,05	0,44	0,20	0,23
N – Parcelado	Gesso Agrícola	2,97	0,22	0,87	0,37	0,16	0,20
N – Parcelado	S elementar pastilhado	3,00	0,21	0,95	0,42	0,21	0,20

<sup>(1)</sup> Efetuadas no Laboratório de Análises Agronômicas Unithal, Maringá / PR.

Segundo Alvarez (2004), o teor foliar de enxofre de 0,12% foi suficiente para se obter a máxima produção de matéria seca de plantas de trigo em vaso, não apresentando resposta a aplicação de enxofre em diferentes solos avaliados. O mesmo autor relata ainda que na fase de florescimento, a campo, os teores foliares variaram de 0,11% a 0,14%, não havendo respostas significativas a aplicação de

enxofre. Segundo Malavolta et al. (2006), as gramíneas possuem baixa exigência desse nutriente quando comparada às leguminosas e hortícolas, ao passo que o nitrogênio é um dos nutrientes mais exigidos pelo trigo.

Em relação aos teores foliares de nitrogênio, observa-se que estão dentro da faixa de suficiência de 2,0 a 3,0% segundo dados parâmetros da CQFS-RS/SC (2004). Para este nutriente, a média dos teores foliares de Santa Isabel do Oeste (2,75) foram maiores que os outros dois locais (Capitão L. Marques = 2,58 e Realeza = 2,53).

A deficiência de enxofre tem sido cada vez mais relatada em cereais na Europa ao longo dos últimos quinze anos, devido à redução da deposição de enxofre a partir da atmosfera e a utilização de fertilizantes de fosfato mais concentradas (GYÖRI, 2005). Deficiências de enxofre resultam em perdas na produção e qualidade do trigo (ZHAO et al., 1999; McGRATH, 2003). Alguns estudos realizados no Rio Grande do Sul mostram que cultivos em solos com baixos teores de matéria orgânica e argila apresentam maiores possibilidades de apresentarem resposta a aplicação de fertilizantes sulfatados (WOLFFENBÜTTEL e TEDESCO, 1981; BISSANI, 1985), como é o caso do Brasil central. Avaliando diversas análises de solo, Alvarez (2004) relata que a disponibilidade de enxofre foi inversamente relacionada ao valor de MH e diretamente aos teores de argila e matéria orgânica.

O efeito da adubação nitrogenada em cobertura sobre o índice relativo de clorofila (IRC) foi significativo, e também sua interação com o local de implantação do experimento (Tabela 5). Observou-se um valor muito baixo de coeficiente de variação (CV=4,85), conferindo boa precisão experimental e confiabilidade na verificação do estado nutricional de nitrogênio para trigo com este método, sendo um teste simples e rápido para ser utilizado. No entanto, sua utilização em escala comercial, para o manejo das culturas, é pouco explorada na região.

Chapman e Barreto (1997) obtiveram significância na aplicação de N em cobertura em relação à aplicação exclusivamente na base, com destaque para o uso do sulfato de amônio, expondo que 50 a 70% do N total da folha é integrantes de enzimas que estão associadas aos cloroplastos. Ao avaliar taxas de aplicação, obtiveram resposta quadrática ao aumento das doses de nitrogênio, semelhante aos

resultados obtidos por Lopez-Bellido et al. (2004).

Observou-se o mesmo padrão de leitura do índice relativo de clorofila (IRC) nos três locais (Tabela 8), onde apenas a testemunha apresentou resultado inferior à aplicação de nitrogênio, independente de época e/ou parcelamento. Isso significa que mesmo com aplicações tardias da adubação nitrogenada em cobertura (fase de espiguetas terminal) em uma cultivar de ciclo precoce, houve tempo hábil da planta converter o N absorvido em pigmentos de clorofila, refletindo posteriormente em ganhos de produtividade, corroborando com os resultados obtidos por Teixeira Filho et al. (2010).

**Tabela 8.** Índice relativo de clorofila e massa seca de plantas de trigo submetido a diferentes manejos de nitrogênio em cobertura em três locais. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015

Manejo de N	Capitão Leônidas Marques	Realeza	Santa Isabel do Oeste	Massa Seca (kg ha <sup>-1</sup> )
	Índice Relativo de Clorofila			
Sem N	34,51 b	30,17 b	30,14 b	7344 d
N – Perfilhamento	39,30 a	41,50 a	41,26 a	9240 a
N – Elongação	39,74 a	41,01 a	41,16 a	8654 c
N – Parcelado	39,06 a	41,08 a	41,62 a	9172 b

Médias seguidas pelas mesmas letras (na coluna) constituem um grupo estatisticamente homogêneo pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

Da mesma maneira, a massa seca de plantas (MS) manteve o comportamento de desenvolvimento quanto ao manejo de nitrogênio, não havendo interações significativas com os ambientes. Pode-se perceber superioridade para este caractere na aplicação em dose única no perfilhamento, seguida do parcelamento e da aplicação apenas na alongação. Porém, percebe-se que as diferenças em MS não seguiram a mesma tendência da produtividade de grãos, onde houve diferenças apenas em relação à testemunha.

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentados os testes de médias para os caracteres número de espigas por metro quadrado (NE) e massa do hectolitro (MH) com interação entre local, manejo de enxofre e manejo de nitrogênio. Em Capitão Leônidas Marques sem o uso de enxofre, o NE foi superior no tratamento com nitrogênio aplicado na alongação (667 espigas m<sup>-2</sup>) em relação aos demais tratamentos (média de 542 espigas m<sup>-2</sup>), comportamento semelhante ao observado para produtividade neste local. Da mesma forma, neste mesmo local, sem a utilização de N em cobertura, o uso do gesso agrícola proporcionou um maior NE (635 espigas m<sup>-2</sup>) em relação à testemunha (529 espigas m<sup>-2</sup>) e ao enxofre elementar

pastilhado (510 espigas m<sup>-2</sup>), o que não determinou incrementos no rendimento de grãos, possivelmente devido à falta de nitrogênio, que não contribui na produção de MS e conseqüentemente não há estrutura para formação de grãos nessas espigas.

No ensaio de Realeza foi observada uma redução no número de espigas por metro quadrado apenas no tratamento sem utilização de enxofre e nitrogênio. Teixeira Filho et al. (2010) observaram resultados controversos para o incremento do número de espigas em trigo, variando a época de aplicação e fontes de nitrogênio utilizadas.

**Tabela 9.** Número de espigas (m<sup>2</sup>) de trigo submetido a fontes de enxofre e diferentes manejos de nitrogênio em cobertura em três locais. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015

Manejo de Nitrogênio	Manejo de Enxofre		
	Sem aplicação	Gesso Agrícola	S elementar pastilhado
Capitão L. Marques			
Sem N	529 B b	635 A a	510 B a
N – Perfilhamento	521 A b	506 A a	620 A a
N – Elongação	667 A a	592 A a	542 A a
N – Parcelado	577 A b	549 A a	561 A a
Realeza			
Sem N	357 A b	431 A a	447 A a
N – Perfilhamento	545 A a	412 A a	478 A a
N – Elongação	463 A a	506 A a	553 A a
N – Parcelado	490 A a	522 A a	510 A a
Santa Isabel do Oeste			
Sem N	412 A a	384 A a	459 A a
N – Perfilhamento	533 A a	518 A a	412 A a
N – Elongação	498 A a	506 A a	510 A a
N – Parcelado	479 A a	439 A a	451 A a

Médias seguidas pelas mesmas letras (maiúscula na linha e minúsculas na coluna) constituem um grupo estatisticamente homogêneo pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

Para a variável massa do hectolitro (MH), apenas o experimento de Santa Isabel demonstrou interação entre aplicação de nitrogênio e fontes de enxofre. Observou-se que quando o nitrogênio foi aplicado na fase de perfilhamento (total ou parcialmente) a MH foi reduzida em relação à aplicação na elongação ou mesmo na ausência de cobertura com nitrogênio. Segundo Alvarez (2004) a massa do hectolitro de trigo também não foi alterado pela adubação sulfatada, sendo que a média obtida foi de 79 kg hL<sup>-1</sup>. Constatou-se comportamento linear decrescente da massa hectolétrica com o aumento das doses de N (TRINDADE et al., 2006; TEIXEIRA FILHO et al., 2010; FAVARATO et al., 2012), que resultam em uma maior quantidade de grãos por espiga, porém, com menor tamanho e enchimento deficiente, devido a competição por fotoassimilados (CAZETTA et al., 2008).

**Tabela 10.** Massa do hectolitro (kg hL<sup>-1</sup>) de trigo submetido a fontes de enxofre e diferentes manejos de nitrogênio em cobertura em três locais. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015

Manejo de Nitrogênio	Manejo de Enxofre					
	Sem aplicação		Gesso Agrícola		S elementar pastilhado	
Capitão Leônidas Marques						
Sem N	80,00	A a	78,90	A a	79,90	A a
N – Perfilhamento	79,40	A a	79,90	A a	79,40	A a
N – Elongação	78,60	A a	80,10	A a	79,90	A a
N – Parcelado	80,40	A a	79,60	A a	81,10	A a
Realeza						
Sem N	82,30	A a	82,80	A a	82,00	A a
N – Perfilhamento	81,70	A a	82,00	A a	83,30	A a
N – Elongação	83,10	A a	82,00	A a	82,80	A a
N – Parcelado	82,50	A a	83,60	A a	83,40	A a
Santa Isabel do Oeste						
Sem N	69,60	A a	69,00	A a	70,50	A a
N – Perfilhamento	68,70	A a	69,00	A a	68,30	A b
N – Elongação	70,40	A a	70,10	A a	71,20	A a
N – Parcelado	69,90	A a	69,20	A a	69,60	A b

Médias seguidas pelas mesmas letras (maiúscula na linha e minúsculas na coluna) constituem um grupo estatisticamente homogêneo pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

Os valores médios de MH no ensaio realizado em Santa Isabel (69,6) são consideravelmente inferiores aos de Realeza (82,6) e Capitão Leônidas Marques (79,8), ocasionado exclusivamente pela ocorrência de uma forte geada no período de enchimento de grãos, o que também explica a baixa produtividade média obtida neste local.

Para verificar a influência dos componentes de produção avaliados no rendimento de grãos, na Tabela 11 é apresentada uma análise de trilha para cada um dos locais onde foram conduzidos os experimentos.

As estimativas dos coeficientes de correlação linear permitem prever as alterações em um determinado caráter provocado pela pressão de seleção exercida sobre outro caráter (COIMBRA et al., 1999). No entanto, os coeficientes de correlação, apesar de serem de grande utilidade na quantificação da magnitude e direção das influências dos fatores na determinação de caracteres complexos, não dão a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos destes fatores. O método da análise de trilha, desenvolvido por Wright (1921), permite a partição dos coeficientes de correlações em efeitos diretos e indiretos sobre uma variável eleita principal, cujas estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas (CRUZ e REGAZZI, 1994).

**Tabela 11.** Efeitos diretos e indiretos de caracteres agrônômicos<sup>(1)</sup> sobre o rendimento de grãos de trigo, nos três locais de realização dos experimentos. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015

Efeitos	IRC	NE	MS	MH
<b>Capitão Leônidas Marques</b>				
Direto sobre RG	0,129	0,261	-0,046	0,709
Indireto via IRC	-	0,017	0,044	0,014
Indireto via NE	0,034	-	-0,027	-0,032
Indireto via MS	-0,016	0,005	-	-0,013
Indireto via MH	0,074	-0,086	0,201	-
Soma (r) <sup>(2)</sup>	0,222	0,197	0,172	0,678**
Coefic. de determinação (r <sup>2</sup> )	0,553			
Número de condição	2,63			
<b>Realeza</b>				
Direto sobre RG	0,716	0,189	-0,048	0,070
Indireto via IRC	-	0,324	0,434	0,028
Indireto via NE	0,085	-	0,095	0,023
Indireto via MS	-0,029	-0,024	-	0,000
Indireto via MH	0,003	0,008	0,000	-
Soma (r)	0,775**	0,497**	0,481**	0,120
Coefic. de determinação (r <sup>2</sup> )	0,634			
Número de condição	5,32			
<b>Santa Isabel do Oeste</b>				
Direto sobre RG	0,592	0,119	0,290	-0,017
Indireto via IRC	-	0,190	0,340	-0,006
Indireto via NE	0,038	-	0,058	-0,001
Indireto via MS	0,167	0,140	-	-0,081
Indireto via MH	0,000	0,000	0,005	-
Soma (r)	0,797**	0,450**	0,692**	-0,106
Coefic. de determinação (r <sup>2</sup> )	0,727			
Número de condição	6,12			

<sup>(1)</sup> RG = Rendimento de grãos; IRC = Índice Relativo de Clorofila; NE = Número de Espigas m<sup>-2</sup>; MS = Massa seca; MH = Massa do Hectolitro. <sup>(2)</sup> Coeficiente de correlação linear de Pearson.

\*\* Significativo pelo teste t (p < 0,01)

No experimento de Capitão Leônidas Marques a massa do hectolitro (MH) foi positivamente associada (0,678) com o rendimento de grãos. A relação causa-efeito da MH sobre a produtividade se confirma pelo efeito direto desta variável (0,709).

Para o experimento de Realeza, observou-se uma elevada magnitude de associação entre os caracteres IRC (0,775), NE (0,497) e MS (0,481) com o rendimento de grãos. Porém, com o desdobramento das interações na análise de trilha, nota-se que o único efeito direto determinante da produtividade de grãos foi proporcionado pelo índice relativo de clorofila (0,716). Há uma considerável influência indireta do IRC nos caracteres NE (0,324) e MS (0,434), sendo esta a verdadeira causa dos coeficientes totais obtidos.

Outros autores observaram que o teor de clorofila na folha também foi positivamente associado com o teor de N na planta (SCHADCHINA e DMITRIEVA,

1995) e com o rendimento de grãos (PIEKIELEK e FOX, 1992; SMEAL e ZHANG, 1994). Assim, é possível afirmar que a medição do IRC é uma importante ferramenta a ser melhor explorada no manejo de campo de adubações, visto a facilidade de coleta de dados e a associação observada com a produtividade neste estudo, sobremaneira em condições ambientais mais favoráveis, como ocorreu no experimento de Realeza.

Em Santa Isabel do Oeste, repete-se a significância da correlação entre rendimento de grãos com as variáveis IRC (797), NE (0,450) e MS (0,692), seguindo a mesma tendência de maior influência do IRC, de maneira direta para IRC (0,592) e de maneira indireta para NE (0,190) e MS (0,340). Neste experimento, observa-se uma correlação linear não significativa e negativa entre RG e MH (-0,106).

#### 4.3 INDICADORES DE QUALIDADE INDUSTRIAL

Na Tabela 12 consta o resumo do quadro da análise de variância dos caracteres relacionados à extração e rendimento de farinha (EF e RF), teor de glúten úmido (GU) e coloração da farinha (cor-L, cor-a e cor-b) para o experimento de Realeza. A quantidade de trigo colhida nas parcelas dos outros dois experimentos não alcançou um mínimo necessário para a realização das análises laboratoriais.

Os parâmetros relacionados à cor da farinha não sofreram nenhuma influência dos manejos avaliados (cor-L=88,44; cor-a=1,25 e cor-b 10,69). De maneira geral, trigos melhoradores não apresentam coloração clara de suas farinhas, devido principalmente ao aspecto vítreo do grão (informação do laboratório do moinho de trigo). Os resultados médios obtidos para coloração indicam a obtenção de uma farinha muito escura ( $L < 89$ ) e amarelada ( $b > 10$ ) (parâmetros usados no moinho de trigo da Coopavel Cooperativa Agroindustrial). A cor-L é afetada pelo conteúdo de farelo ou material estranho, enquanto cor-b está relacionada com a quantidade de pigmentos presentes, característicos de cada genótipo (MAILHOT e PATTON, 1988; OLIVER et al., 1993).

**Tabela 12.** Análise de variância incluindo Graus de Liberdade (GL) e Coeficiente e Variação (CV %) para caracteres relacionados à extração de farinha, glúten úmido e cor da farinha de trigo, submetido a fontes de enxofre e diferentes manejos de nitrogênio em cobertura. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015

Fonte de Variação	GL	EF (g kg <sup>-1</sup> )	RF (kg ha <sup>-1</sup> )	GU (%)	Cor - L	Cor -a	Cor - b
Quadrado Médio							
Bloco	2	14,91	3643,14	16,36	20,46	4,03	0,02
Nitrogênio (N)	3	715,72 **	1051088,54 **	112,13 **	0,30 <sup>NS</sup>	0,06 <sup>NS</sup>	0,08 <sup>NS</sup>
Enxofre (S)	2	17,76 <sup>NS</sup>	141481,35 *	11,89 <sup>NS</sup>	0,06 <sup>NS</sup>	0,03 <sup>NS</sup>	0,13 <sup>NS</sup>
N x S	6	39,96 <sup>NS</sup>	31383,39 <sup>NS</sup>	6,97 <sup>NS</sup>	1,45 <sup>NS</sup>	0,17 <sup>NS</sup>	0,13 <sup>NS</sup>
Resíduo	22	90,52	29551,56	7,38	1,13	0,25	0,13
Média		639,75	1379,06	27,61	88,44	1,25	10,69
CV %		1,49	12,47	9,84	1,20	40,02	3,41

EF – Extração de farinha; RF – Rendimento de Farinha; GU – Teor de glúten úmido; Cor – parâmetros de luminosidade (L) e coordenadas de cromaticidade (a e b).

\* e \*\* - Significativo a 5% ( $p < 0,05$ ) e 1% ( $p < 0,01$ ) de probabilidade de erro pelo teste F, respectivamente. <sup>NS</sup> – não significativo.

A taxa de extração de farinha (EF) é uma característica relacionada com a textura e umidade de grãos e do tipo de equipamento utilizado na moagem (GUARIENTI, 1996; MORRIS et al., 1999). A comparação entre médias (Tabela 13) demonstra que há maior EF em trigo obtido nas parcelas sem cobertura com nitrogênio (652,20), em comparação aos tratamentos onde se utilizou este nutriente (média de 635,60); possivelmente devido a diferenças na dureza dos grãos (GUTKOSKI et al., 1999). Essa é uma característica importante para os moinhos de trigo, pois os trigos duros e moles devem ser submetidos a diferentes formas de condicionamento, respondendo de forma diferente na taxa de extração de farinha (GUARIENTI, 1996; ORTOLAN et al., 2010).

**Tabela 13.** Rendimento de farinha (RF) extração de farinha (EF), teor de glúten úmido (GU) e índice de elasticidade (IE) de trigo sob diferentes manejos de nitrogênio em cobertura. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015

Manejo de N	RF (kg ha <sup>-1</sup> )	EF (g kg <sup>-1</sup> )	GU (%)	IE (%)
Sem N	868,4 b	652,20 a	22,70 c	51,48 b
N – Perfilhamento	1508,2 a	636,02 b	28,79 b	57,34 a
N – Elongação	1562,0 a	631,41 b	27,90 b	57,68 a
N – Parcelado	1577,6 a	639,38 b	31,04 a	53,79 b
Manejo de S				
Sem S	1289,7 c			
S – Gesso Agrícola	1347,6 b			
S – Elementar pastilhado	1499,9 a			

Médias seguidas pelas mesmas letras (na coluna) constituem um grupo estatisticamente homogêneo pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

Quando se considera o rendimento de farinha, que relaciona a taxa de extração de farinha com o rendimento de grãos, há uma considerável diferença entre

os tratamentos. A média do grupo superior formado pelo manejo de nitrogênio em cobertura foi de 1549,3 kg ha<sup>-1</sup> de farinha, sendo 78,4% superior a testemunha (868,4 kg ha<sup>-1</sup>), independente da forma de aplicação. Este resultado é expressivo visto que a indústria pode manter boa produção de farinha mesmo com redução de área cultivada em sua região, especialmente onde o cultivo de trigo compete com a área cultivada com milho safrinha ou mesmo com o pousio de inverno.

Ainda em relação ao rendimento de farinha, observou-se superioridade com uso de enxofre elementar pastilhado (1499,9 kg ha<sup>-1</sup>) seguido do uso de gesso agrícola (1347,6 kg ha<sup>-1</sup>), estatisticamente superiores a testemunha (1289,7 kg ha<sup>-1</sup>). Os resultados positivos do uso de enxofre para RF são derivados principalmente dos aumentos de rendimento de grãos, visto que a extração de farinha não foi influenciada pela aplicação deste nutriente. O papel do enxofre no crescimento e desenvolvimento da planta é bem conhecido (ZHAO et al., 1999) e sua deficiência pode diminuir a produtividade de grãos (STEINFURTH et al., 2012).

Diversos autores verificaram influências positivas do enxofre na qualidade de panificação (ZHAO et al. (1999); McGRATH (2003); SHAHSAVANI e GHOLAMI, 2008; JÄRVAN et al., 2008). No entanto, neste estudo as variáveis relacionadas a qualidade industrial do trigo não foram responsivas ao uso de adubação sulfatada em cobertura.

O teor de glúten úmido demonstrou melhor resposta ao parcelamento da adubação de cobertura (31,04%), seguido da aplicação em dose única tanto no perfilhamento (28,79%) quanto na alongação (27,90%), ambos os grupos com considerável vantagem em relação à testemunha (22,70%). Penckowski et al. (2010) observaram maiores porcentagens de glúten úmido com o aumento da adubação nitrogenada. O teor de glúten úmido é uma medida quantitativa das proteínas que compõem o glúten, responsáveis pela força e qualidade da massa (ORTOLAN, 2006). No entanto, as características de qualidade industrial da farinha dependem também da qualidade do glúten (TANADA-PALMU e GROSSO, 2003; GRANT et al., 2004).

Na Tabela 14 apresenta-se um resumo da análise de variância para dos parâmetros analisados pela alveografia do experimento de Realeza. Testes reológicos, como a alveografia, são utilizados para avaliar a qualidade da farinha,

destinado-a para fabricação de produtos específicos (ORTOLAN, 2006).

**Tabela 14.** Análise de variância incluindo Fonte de Variação (FV), Graus de Liberdade (GL) e Coeficiente e Variação (CV %) para alveografia da farinha de trigo submetido a fontes de enxofre (S) e diferentes manejos de nitrogênio em cobertura (N). UTFPR, Campus Pato Branco, 2015

FV	GL	P	L	P/L	G	IE	W
		Quadrado Médio					
Bloco	2	250,58	25,08	0,28	0,48	3,15	1687,53
N	3	275,73 <sup>NS</sup>	150,89 <sup>NS</sup>	0,37 <sup>NS</sup>	2,98 <sup>NS</sup>	79,56*	4022,00 <sup>NS</sup>
S	2	43,00 <sup>NS</sup>	88,58 <sup>NS</sup>	0,44 <sup>NS</sup>	2,17 <sup>NS</sup>	0,72 <sup>NS</sup>	662,69 <sup>NS</sup>
N x S	6	648,26 <sup>NS</sup>	100,14 <sup>NS</sup>	0,45 <sup>NS</sup>	2,12 <sup>NS</sup>	17,56 <sup>NS</sup>	6243,47 <sup>NS</sup>
Resíduo	22	498,67	219,60	1,05	4,74	17,33	2703,83
Média		133,75	58,67	2,45	16,95	55,07	294,89
CV %		16,70	25,26	41,79	12,84	7,56	17,63

P = Tenacidade da massa (mm); L = Extensibilidade da massa (mm); P/L = relação entre tenacidade e extensibilidade; G = Índice de entumescimento (%); IE = Índice de elasticidade (%); W = Força do glúten ( $W \times 10^{-4}$  J).

\* e \*\* - Significativo a 5% ( $p < 0.05$ ) e 1% ( $p < 0.01$ ) de probabilidade de erro pelo teste F, respectivamente. <sup>NS</sup> – não significativo.

As fontes de enxofre utilizadas não foram significativas para nenhuma das variáveis avaliadas, corroborando com os resultados obtidos por Fontanetto et al. (2003) e Lerner et al. (2006), que também não observaram alterações nos parâmetros de qualidade industrial de trigo com a fertilização sulfatada. Segundo Zhao et al. (1999) e McGrath (2003), trabalhando com enxofre e nitrogênio em trigo, observaram que aplicando simultaneamente estes nutrientes foram obtidas melhorias na qualidade da panificação. O uso de altas doses de nitrogênio sem suplementação com enxofre em solos deficientes pode reduzir a qualidade de farinha (RUITER e MARTIN, 2001; RYANT e HRIVNA, 2004).

Constatou-se influência do manejo de nitrogênio para o caractere índice de elasticidade (Tabela 13). O IE foi favorecido pela aplicação em dose única do nitrogênio em cobertura, tanto no perfilhamento (57,34%) quanto na alongação (57,68%), em detrimento ao parcelamento (53,79%) e a ausência de cobertura (51,48%). Para Miranda et al. (2005), o IE permite visualizar o comportamento reológico da massa usada na panificação industrial e produção de biscoitos, variando de 25% a 75% sem correção com ácido ascórbico, sendo que maiores valores significam maior resistência elástica. A aplicação isolada de nitrogênio em trigo resulta em respostas distintas em diferentes cultivares e em diversos ambientes de produção (GUARDA et al., 2004; TEA et al., 2007; EREKUL et al., 2009).

A média para força de glúten (W) obtida no experimento de Realeza foi

de  $294,89 \times 10^{-4}$  J, valor que enquadra o trigo deste local na classe pão (BRASIL, 2010). Miranda et al. (2003) descreveram que a classe considera a aptidão tecnológica do trigo com cultivo em condições adequadas ao longo dos anos (ORTOLAN, 2006), cujo desempenho depende do clima, solo, tratos culturais, secagem e armazenagem, ao qual o trigo foi submetido. Para GIANIBELLI et al. (2001) e APPELBEE et al. (2009), o teor de proteínas do grão de trigo sofre influência de fatores ambientais e agronômicos, porém, a qualidade destas proteínas é uma característica primordialmente genética.

Segundo Moraes et al. (2013), aumentos nos parâmetros de qualidade industrial de trigo ( $W = 24,37\%$ ,  $L = 14,86\%$  e  $P = 11,59\%$ ), foram notados a partir de doses de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N com partição na semeadura, perfilhamento e floração. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Garrido-Lestache et al. (2004), onde foram registrados aumentos consideráveis nos valores de W e redução da relação P/L na dose de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Este fato pode indicar que a dose utilizada em cobertura neste estudo foi baixa ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ) para influenciar de forma mais contundente as características industriais do trigo.

De maneira geral, as formas de aplicação da adubação de cobertura proporcionaram pouca alteração nas características alveográficas da farinha, possivelmente em função da utilização de um genótipo pouco responsivo a tais mudanças. Pinnow et al. (2013), trabalhando com a cultivar de trigo BRS Pardela (classe melhorador), obteve uma grande variabilidade da força de glúten em resposta a doses de nitrogênio em sucessão a diferentes espécies de adubação verde. A magnitude das respostas à aplicação de nitrogênio varia sobremaneira em função do momento de aplicação do nitrogênio e do genótipo (THOMASON et al., 2007; MORAES et al., 2013).

Na Tabela 15 podem ser observados os coeficientes de efeitos diretos e indiretos da análise de trilha realizada entre a força do glúten (variável principal) e os demais caracteres de qualidade industrial avaliados. Dentre os resultados apresentados, observa-se correlação não significativa entre GU e W (0,138), e efeito direto nulo de GU sobre W (0,004), indicando não haver relação entre a quantidade de glúten que uma determinada farinha apresenta com a força que este glúten assumirá durante o preparo da massa. Cazetta et al. (2008), observaram que a força

de glúten e o teor de proteína do grão responderam linearmente com a elevação das doses de N (até 120 kg ha<sup>-1</sup>) nas cultivares testadas, influenciando positivamente a qualidade da farinha.

**Tabela 15.** Efeitos diretos e indiretos de caracteres<sup>(1)</sup> de qualidade industrial de trigo sobre a força do glúten, no experimento de Realeza. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015

Efeitos	GU	P	L	IE	Cor-L	Cor-a	Cor-b	EF
Direto sobre W	0,004	0,829	0,791	0,311	0,183	0,065	-0,002	0,121
Indireto via GU	-	-0,001	0,002	0,000	-0,001	0,001	0,000	-0,001
Indireto via P	-0,220	-	-0,362	0,440	-0,128	0,167	-0,131	-0,370
Indireto via L	0,385	-0,346	-	-0,004	-0,051	0,016	0,278	0,069
Indireto via IE	0,031	0,165	-0,002	-	0,006	0,011	-0,068	-0,202
Indireto via Cor-L	-0,058	-0,028	-0,012	0,004	-	-0,169	-0,040	-0,037
Indireto via Cor-a	0,013	0,013	0,001	0,002	-0,060	-	0,010	0,012
Indireto via Cor-b	0,000	0,000	-0,001	0,001	0,001	0,000	-	0,000
Indireto via EF	-0,017	-0,054	0,011	-0,078	-0,024	0,021	0,019	-
Soma (r) <sup>(2)</sup>	0,138	0,578**	0,428**	0,676**	-0,075	0,113	0,066	-0,408*
Coef. de determinação (r <sup>2</sup> )	0,973							
Número de Condição	41,42							

<sup>(1)</sup> W = Força do Glúten; GU = Teor de Glúten Úmido; P = Tenacidade da massa; L = Extensibilidade da massa; P/L = relação entre tenacidade e extensibilidade; IE = Índice de elasticidade. Cor = parâmetros de luminosidade (L) e coordenadas de cromaticidade (a e b); EF = Extração de Farinha.

<sup>(2)</sup> Coeficiente de correlação linear de Pearson.

\* e \*\* - Significativo a 5% (p<0.05) e 1% (p<0.01) de probabilidade de erro pelo teste F.

Da mesma forma, percebe-se que não há correlação significativa entre os indicadores da cor da farinha (Cor-L, Cor-a e Cor-b) e a força do glúten. Porém, deve-se considerar que neste experimento foi utilizada apenas uma cultivar de trigo, o que minimiza variações da coloração da farinha, por se tratar de uma característica mais relacionada ao genótipo e condições de armazenagem (ORTOLAN et al., 2010). Em trabalhos realizados por Prabhasankar et al. (2000), houve correlações entre EF e Cor-L (luminosidade), pois maiores taxas de extração de farinha acarretam maior quantidade de partículas contaminantes, especialmente da camada de aleurona do grão.

Observou-se correlação linear significativa entre a variável principal (força de glúten – W) e os caracteres P (0,578), L (0,428), IE (0,676) e EF (-0,408). Tenacidade (0,829) e extensibilidade (0,791) são os caracteres que mais influenciaram diretamente a força de glúten. Por outro lado, as relações lineares de IE e EF com W são fortemente influenciados pelos efeitos indiretos, principalmente pela variável P.

Os efeitos de P e L sobre a força de glúten são coerentes, uma vez que são estes parâmetros que determinam, respectivamente, a altitude e longitude

médias do alveograma. O valor de W correspondente a área formada sob a curva do alveograma, indicando que variações significativas em P e/ou L acarretarão variações na força do glúten. A associação entre P/L e W também foi observada por Nelson et al. (2006) e Mohammed et al. (2011). Esses autores observaram correlação positiva entre P e L com índice de elasticidade e força de glúten. Em trabalho realizado por Pinnow et al. (2013), houve maior associação de W e P/L com a dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, enquanto rendimento de grãos e glúten úmido se relacionaram mais estreitamente com a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>, caracterizando que, de modo geral, o desempenho de componentes de qualidade tecnológica foi maximizado com uso de maiores doses de nitrogênio.

Observando-se a correlação existente entre W e EF, percebe-se que o efeito direto é baixo e positivo (0,121), porém, devido à influência dos efeitos indiretos, tem-se um somatório alto e negativo (-0,408). Esta situação indica a importância de serem estudados os efeitos diretos e indiretos de uma variável sobre a outra.

A análise de correlação canônica (Tabela 16) permite observar que entre os grupos formados pelas variáveis agrônomicas de rendimento de grãos e qualidade industrial. Para o experimento conduzido em Realeza, houve significância ( $p < 0,01$ ) apenas para o par canônico de primeira ordem (correlação total,  $r = 0,915$ ), indicando que há uma correlação linear entre os dois grupos considerados, ou seja, não são independentes.

Sendo assim, as relações demonstram que plantas de trigo com maiores teores de clorofila foliar e com maiores rendimentos de grãos são determinantes para obtenção de farinha de trigo com maior teor de glúten úmido e índice de elasticidade, porém com tendência a menor força de glúten e baixa extração de farinha. Os caracteres P/L, Cor-L, Cor-a e Cor-b apresentaram uma baixa contribuição na associação intergrupos.

**Tabela 16.** Coeficientes canônicos da análise de correlação canônica de trigo entre os grupos de caracteres agronômicos de rendimento de grãos e qualidade industrial. UTFPR, Campus Pato Branco, 2015

Caracteres	Primeiro par canônico
<b>GRUPO 01</b>	
Índice relativo de clorofila	0,647
Rendimento de grãos	0,336
Número de espigas	0,103
Massa seca de plantas	0,023
Massa do hectolitro	-0,020
<b>GRUPO 02</b>	
Teor de Glúten Úmido	0,687
Índice de elasticidade	0,381
Cor-b	0,010
P/L	-0,073
Cor-L	-0,154
Cor-a	-0,194
Força do Glúten	-0,216
Extração de farinha	-0,432
R – Correlação Total	0,915
Significância (%)	0,00065

Segundo estudos realizados por Scalco et al. (2002), aplicações de nitrogênio acima de 120 kg ha<sup>-1</sup> afetam negativamente a força de glúten, ainda que dentro dos limites de tolerância para panificação, concordando com as relações demonstradas pela análise de correlação canônica.

Para a cultivar CD 150, um adequado manejo da adubação nitrogenada que promova altos índices de clorofila e bons rendimentos de grãos, podem resultar em alterações nas características industriais da farinha de trigo. Dessa maneira, recomenda-se para esta cultivar apenas uma aplicação de nitrogênio em cobertura no início de alongação, sem necessidade de aplicação de enxofre. Outros genótipos de trigo da classe melhorador devem ser testados, para verificar se há mesma propensão de respostas, garantindo conclusões mais abrangentes e precisas.

A utilização de nitrogênio em cobertura é um manejo fundamental nas lavouras de trigo, especialmente em anos com elevada precipitação devido as perdas de N por lixiviação. Devem ser realizadas novas pesquisas quanto aos resultados da aplicação tardia de nitrogênio em outras cultivares, visando aumentar a amplitude das informações relacionadas à qualidade industrial da farinha.

As fontes de enxofre utilizadas não apresentaram resultados satisfatórios para a formulação de uma recomendação consistente, apenas

observou-se uma tendência ao aumento de produtividade com uso do enxofre elementar pastilhado. Entretanto, novos estudos devem ser conduzidos em ambientes de maior potencial produtivo. Recomenda-se novos estudos com a utilização de enxofre elementar pastilhado adicionado aos fertilizantes minerais utilizados em semeadura, o que poderia favorecer sua oxidação no solo.

## 4 CONCLUSÕES

– A utilização de 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio em cobertura foi determinante para obtenção de maiores produtividades. O parcelamento da adubação de cobertura não demonstra vantagens em relação à aplicação em dose única, não sendo recomendada pelo aumento nos custos de produção;

– Os parâmetros índice de glúten úmido e índice de elasticidade da farinha foram incrementados pela adubação nitrogenada realizada no início da elongação, porém, não foram observadas respostas para a força geral de glúten;

– As fontes de enxofre (gesso agrícola e enxofre elementar pastilhado) não resultaram em melhorias na qualidade industrial da farinha. Por outro lado, o uso de enxofre elementar pastilhado apresentou tendência a aumentar o rendimento de grãos de trigo.

**REFERÊNCIAS**

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of the AACC**, 8ª ed., v. I e II, St. Paul, 1999.

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of the AACC**, 9ª ed., v.II, St. Paul, 1995.

ABITRIGO. Associação Brasileira da Indústria do Trigo. Estimativa de moinhos em atividade no Brasil 2013. **Estatísticas**. Disponível em: <[http://www.abitrigo.com.br/pdf/01.Est\\_Moinhos\\_Ativ\\_BR-2013.pdf](http://www.abitrigo.com.br/pdf/01.Est_Moinhos_Ativ_BR-2013.pdf)>. Acesso em 27/02/2015.

ABITRIGO. Associação Brasileira da Indústria do Trigo. Produção mundial de trigo – fevereiro/2015. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br/pdf/PROD-TRIGO.pdf>>. Acesso em 27/02/2015.

ALVAREZ, J.W.R. **Disponibilidade e resposta de culturas ao enxofre em solos do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria. 84p, 2004.

ALVAREZ, R.C.F.; CRUSCIOL, C.A.C; OCHEUZE, P.C.; RODRIGUES, J.D.; ALVAREZ, A.C.C. Influência do etil-trinexapac no acúmulo, na distribuição de nitrogênio (15N) e na massa de grãos de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.31, p.1487-1496, 2007.

APPELBEE, M.J.; MEKURIA, G.T.; NAGASANDRA, V.; BONNEAU, J.P.; EAGLES, H.A.; EASTWOOD, R.F.; MATHER, D.E. Novel allelic variants encoded at the Glu-D3 locus in bread wheat. **Journal of Cereal Science**, v.49, p.254-261, 2009.

ARENHARDT, E.G. **Inferências à época de aplicação de nitrogênio em trigo e os reflexos nos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade nos sistemas de cultivo**. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria. 52p, 2012.

BARNEIX, A.J.; GUITMAN, M.R. Leaf regulation of the nitrogen concentration in the grain of wheat plants. **Journal Experimental Botany**, v.44, p.1607-1612, 1993.

BARRACLOUGH, P.B.; HOWARTH, J.R.; JONES, J.; LOPEZ-BELLIDO, R.; PARMAR, S.; SHEMHERD, C.E.; HAWKESFORD, M.J. Nitrogen efficiency of wheat: genotypic and environmental variation and prospects for improvement. **European Journal of Agronomy**, v.33, p.1-11, 2010.

BASSO, B.; CAMMARANO, D.; TROCCOLI, A.; CHEN, D.; RITCHIE, J.T. Long-term

wheat response to nitrogen in a rainfed Mediterranean environment: Field data and simulation analysis. **European Journal Agronomy**, v.33, p.132-138, 2010.

BEATON, J.D.; WAGNER, R.E. Sulphur: A vital component of maximum economic yield systems. **Sulphur in Agriculture**, v.9, p.1-7, 1985.

BELTON, P.S. New approaches to study the molecular basis of the mechanical properties of gluten. **Journal of Cereal Science**, v.41, p.203-211, 2005.

BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; BECHE, E.; PAGLIOSA, E.S.; SILVA, C.L.; PINNOW C. Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.34, p.275-283, 2012.

BISSANI, C.A. **Disponibilidade de S para as plantas em solos do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 198p, 1985.

BORGES, L.C; FERREIRA, D.F. Poder e taxas de erro tipo I dos testes Scott-Knott, Tukey e Student-Newman-Keuls sob distribuições normais e não normais dos resíduos. **Revista de Matemática e Estatística**, v.21, p.67-83, 2003.

BORTOLINI, C.G. **Eficiência do método de adubação nitrogenada em pré-semeadura do milho implantado em semeadura direta após aveia preta**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 48p, 2000.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC no. 7, de 18 de fevereiro de 2011. **Dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos**. Diário Oficial da União, 22 de fevereiro de 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n.º 38, de 30 de novembro de 2010. **Regulamento técnico do trigo**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, Seção 1, n.29, p.2, 1, 2010.

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

BRUM, A.L.; MULLER, P.K. A realidade da cadeia do trigo no Brasil: o elo produtores/cooperativas. **Revista de Economia Rural**, v.46, 2008.

CAIRES, E.F., FELDHAUS, I.C., BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Aplicação de calcário e gesso na cultura do trigo. **Scientia Agricola**, vol.59, p.357-364, 2002.

CAMPILLO, R.; JOBET, C.; UNDURRAGA, P. Effects of nitrogen on productivity,

grain quality, and optimal nitrogen rates in winter wheat cv. kumpainia in andisols of southern Chile. **Chilean journal of agricultural research**, v.70. p.122-131, 2010.

CAPPELLARI, G.J.; SILVA, J.A.G. da; KRÜGER, C.A.M.B.; WAGNER, J.F.; MARTINS, J.A.K.; GAVIRAGHI, F.; MATTER, E.; MATTIONI, T.; SILVA, A.J. da; ANTONOW, D. **Alterações nos componentes de produção pelo efeito da dose de adubação (N) em cultivares de trigo**. XVIII CIC, XI ENPOS, I Mostra Científica, Anais... 2009.

CARCEA, M.; SALVARORELLI, S.; TURFANI, V.; MELLARA, F. Influence of growing conditions on the technological performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **International Journal of Food Sciences and Technology**, v.41, p.102-107, 2006.

CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D.; ARF, O.; GERMANI, R. Qualidade industrial de cultivares de trigo e triticale submetidos à adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. **Bragantia**, v.67, p.741-750, 2008.

CERETTA, C.A; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. **Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul. Cap.7, p.111-120, 1997.

CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, v.89, p.557-562, 1997.

CHIAROTTI, S; PONTINI, C. Trigo: ensayo de fertilización azufrada. **Informaciones Agronómicas**, v.5, p.15-17, 2000.

COIMBRA, J.L.M.; GUIDOLIN, A.F.; CARVALHO, F.I.F.de; COIMBRA, S.M.M; HEMP, S. Reflexos da interação genótipo x ambiente e suas implicações nos ganhos de seleção em genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Rural**, v.29, p.433-439, 1999.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. Porto Alegre: UFRGS, ed.10, 400p, 2004.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, quinto levantamento, fevereiro de 2015 - Brasília, 2015.

COSTA, L.; ZUCARELI, C.; RIEDE, C.R. Parcelamento da adubação nitrogenada no desempenho produtivo de genótipos de trigo. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.215-224, 2013.

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2006, 648p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 390p, 1994.

DE MORI, C.; SCHEEREN, P.L.; MINELLA, E.; FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P.dos; LORINI, I. **Avaliação de impactos econômicos e ambientais de algumas tecnologias geradas pela Embrapa Trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 35p, 2007.

DOTLAČIL, L.; HERMUTH, J.; STEHNO, Z.; DVOŘÁČEK, V.; BRADOVÁ, J.; LEIŠOVÁ, L. How Can Wheat Landraces Contribute to Present Breeding? **Czech Journal of Genetics and Plant Breeding**, v.46, p.70-74, 2010.

DUKE, S.H.; REISENAUE, H.M. Roles and requirements of sulfur in plant nutrition. In: **Sulfur in agriculture**, ed. M. A. Tabatabai, Agronomy Series n.27, 124-168, 1986.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 370p, 1999.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil**. Londrina: EMBRAPA, ed.2, 182p, 1998.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, ed.2, 306p, 2006.

EREKUL, O.; KAUTZ, T.; ELLMER, F.; TURGUT, I. Yield and breadmaking quality of different wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes grown in Western Turkey. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.55, p.169-182, 2009.

EREKUL, O.; KLAUS-PETER, G.; TALIH, G. Effect of supplemental irrigation on yield and bread-making quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties under the mediterranean climatical conditions. **Turkish Journal of Field Crops**, v.17, p.78-86, 2012.

ERREBHI, M.; ROSEN, C.J.; GUPTA, S.C.; BIRONG, D.E. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. **Agronomy Journal**, v.90, p.10-15, 1998.

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; SOUZA, M.A.; GROSSI, J.A.S.; SOUZA L.T. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e Produção da

cultura do trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.1404-1411, 2010.

FAVARATO, L.F.; ROCHA, V.S.; ESPINDULA, M.C.; SOUZA, M.A.de; PAULA, G.de S. Adubação nitrogenada e qualidade fisiológica de sementes de trigo. **Bragantia**, v.71, 2012.

FLOSS, E.L. **Fisiologia das plantas cultivadas**: o estudo que está por trás do que se vê. Passo Fundo : UPF, ed.2, 536p, 2004.

FONTANETTO, H.; KELLER, O.; ALBRECHT, J.; BELOTTI, L. Efecto de fuentes nitrogenadas y su combinación con azufre sobre los rendimientos y la calidad panadera del trigo. **Información Técnica de Trigo**, v.99, p.1-9, 2003.

FOULKES, M.J.; HAWKESFORD, M.J.; BARRACLOUGH, P.B.; HOLDSWORTH, M.J.; KERR, S.; KIGHTLEY, S.; SHEWRY, P.R. Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: Recent advances and future prospects. **Field Crops Research**, v.114, p.329-342, 2009.

FOWLER, D.B. Crop nitrogen demand and grain protein concentration of spring and winter wheat. **Agronomy Journal**, v.95, p.260-265, 2003.

FREITAS, J.G.; CAMARGO, C.E.O.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; CAMARGO, C.E.O.; CASTRO, J.L. Eficiência e Resposta de Genótipos de Trigo Ao Nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.229-234, 1995.

GAO, X.; LUKOW, O.M.; GRANT, C.A. Grain concentrations of protein, iron and zinc and bread making quality in spring wheat as affected by seeding date and nitrogen fertilizer management. **Journal of Geochemical Exploration**, v.121, p.36-44, 2012.

GARCIA, F.O.; FONTANETTO, H.; VIVAS, H. La fertilización del doble cultivo trigosoja. **Informaciones Agronómicas**, v.10, p.14-17, 2001.

GARRIDO-LESTACHE, E.; LÓPEZ-BELLIDO, R. J.; 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**, v.85, p.213-236, 2004.

GEORGET, D.M.R.; UNDERWOOD-TOSCANO, C.; POWERS, S.J.; SHEWRY, P.R.; BELTON, P.S. Effect of Variety and Environmental Factors on Gluten Proteins: An Analytical, Spectroscopic, and Rheological Study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.56, p.1172-1179, 2008.

GIANIBELLI, M.C. LARROQUE, O.R. MACRITCHIE, F.E WRIGLEY, C.W. Biochemical, Genetic, and Molecular Characterization of Wheat Glutenin and Its Component Subunits. **Cereal Chemistry**, v.78, p.635-646, 2001.

GIRMA, K.; MOSALI, J.; RAUN, W.R.; FREEMAN, K.W.; MARTIN, K.L.; SOILE, J.B.; STONE, M.L. Identification of optical spectral signatures for detecting cheat and ryegrass in winter wheat. **Crop Science**, v.45, p.477-485, 2005.

GORNY, A.G.; LUGOWSKA, B.; BANASZAK, Z.; RATAJCZAK, D. Inheritance of the efficiency of nitrogen uptake and utilization in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under diverse nutrition levels. **Euphytica**, v.177, p.191-206, 2011.

GRANT, B.; SMITH W.N.; DESJARDINS R.; LEMKE, R.; LI, C. Estimated N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions as influenced by agricultural practices in Canada. **Climatic Change**, v.65, p.315-332, 2004.

GUARDA, G.; PADOVAN, S.; DELOGU, G. Grain yield, nitrogen use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread wheat cultivars grown at different nitrogen levels. **European Journal of Agronomy**, v.21, p.181-192, 2004.

GUARIENTI, E.M. **Qualidade industrial de trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 36p, 1996.

GUTKOSKI, L.C.; ANTUNES, E.; ROMAN, I.T. Avaliação do grau de extração de farinhas de trigo e de milho em moinho tipo colonial. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v.17, p.153-166, 1999.

GUTKOSKI, L.C.; ROSA FILHO, O.; TROMBETTA, C. Correlação entre o teor de proteínas em grãos de trigo e a qualidade industrial das farinhas. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v.20, p.29-40, 2002.

GYÖRI, Z. Sulphur content of winter wheat grain in long term field experiments. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, 373-382, 2005.

HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F.; DIDONET, A.D.; TRINDADE, M.G.; SOARES, B.B.; MOREIRA, J.A.A.; CANOVAS, A.D. Eficiência de uso da radiação solar na produtividade de trigo decorrente da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.352-356, 2006.

HOROWITZ, N. **Oxidação e eficiência agrônômica do enxofre elementar em solos do Brasil**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Oxidação de enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, v.36, p.822-828, 2006.

IMSANDE, J.; SCHMIDT, J.M. Effect of N source during soybean pod filling on nitrogen and sulfur assimilation and remobilization. **Plant and Soil**, v.202, p.41-47,

1998.

JANZEN, H.H.; BETTANY, J.R. Measurement of sulfur oxidation in soils. **Soil Science**, v.143, p.444-452, 1987.

JÄRVAN, M.; EDESI, L.; ADAMSON, A.; LUKME, L.; AKK, A. The effect of sulphur fertilization on yield, quality of protein and baking properties of winter wheat. **Agronomy Research**, v.6, p.459-469, 2008.

JORDAN, H.V.; ENSMINGER, L.E. The role of sulphur in soil fertility. **Advance in Agronomy**, v.10, p.407-434, 1958.

KUTMAN U.B.; YILDIZ B.; ÇAKMAK I. Improved nitrogen status enhances zinc and iron concentrations both in the whole grain and the endosperm fraction of wheat. **Journal of Cereal Science**, v.53, p.118-125, 2011.

LADHA, J.K.; PATHAK, H.; KRUPNIK, T.J.; SIX, J.; KESSEL, C.V. Efficiency of Fertilizer Nitrogen in Cereal Production: Retrospects and Prospects. **Advances in Agronomy**, v.87, p.85-156, 2005.

LERNER, S.E.; SEGHEZZO, M.L.; MOLFESE, E.R.; PONZIO, N.R.; COGLIATTI, M.; ROGERS, W.J. N and S fertilizer effects on grain composition, industrial quality and end use in durum wheat. **Journal of Cereal Science**, v.44, p.2-11, 2006.

LITTLE, T.M.; HILLS, F.J. **Agricultural experimentation**. New York: John Willey and Sons, 350p, 1978.

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**, v.20, p.313-320, 2004.

LUO, C.; BRANLARD, G.; GRIFFIN, W.B.; MCNEIL, D.L. The effect of nitrogen and sulphur fertilisation and their interaction with genotype on wheat glutenins and quality parameters. **Journal of Cereal Science**, v.31, p.185-194, 2000.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Max Roesner, Curitiba, Brasil, 350p, 1968.

MAILHOT, W.C.; PATTON, J.C. Criteria of Flour Quality. In: **“Wheat: Chemistry and Technology”**. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, p.131-215, 1988.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 638p, 2006.

McGRATH, S.P. **Sulphur: A secondary nutrient? Not anymore!** New AG International, 03/2003, p.70-76.

McGRATH, S.P.; ZHAO, F.J. Sulfur uptake, yield responses and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). **Journal Agricultural Science**, v.126, p.53-62, 1996.

MEGDA, M.M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M.M.C.; VIEIRA, M.X. Resposta de cultivares de trigo ao nitrogênio em relação às fontes e épocas de aplicação sob plantio direto e irrigação por aspersão. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.1055-1060, 2009.

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

MIRANDA, M.Z.de; De MORI, C.; LORINI, I. **Qualidade do trigo brasileiro – safra 2005**. Passo Fundo: Embrapa Trigo - Documento 80, 102p, 2008.

MIRANDA, M.Z.de; DE MORI, C.; LORINI, I. **Qualidade do trigo brasileiro: safra 2002**. Passo Fundo: Embrapa Trigo - Documentos 40, 43p, 2003.

MIRANDA, M.Z.de; DE MORI, C.; LORINI, I. **Qualidade do trigo brasileiro – safra 2004**. Passo Fundo: Embrapa Trigo – Documento 52, 92p, 2005.

MIRANDA, M.Z.de; GUARIENTI, E.M.; TONO, V.D. Qualidade tecnológica de trigo. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da. **Trigo no Brasil: Bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p.371-390, 2011.

MITTELMANN, A.; NETO, J.F.B.; CARVALHO, F.I.F.; LEMOS, M.C.I.; CONCEIÇÃO, L.D.H. Herança de caracteres do trigo relacionados a qualidade de panificação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.975-983, 2000.

MÓDENES, A.N.; SILVA, A.M.; TRIGUEROS, D.E.G. Avaliação das propriedades reológicas do trigo armazenado. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v.29, p.508-512, 2009.

MOHAMMED, A.; GEREMEW, B.; AMSALU, A. Variation and associations of quality parameters in Ethiopian durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) genotypes. **International Journal of Plant Breeding and Genetics**, v.6, p.17-31, 2011.

MORAES, L.B.D.; FREO, J.D.; BIDUSKI, B.; ELIAS, M.C.; GUTKOSKI, L.C. Effects of Rate, Time and Splitting of Nitrogen Fertilization on the Technological Quality of Wheat. **Journal of Food Science and Engineering**, v.3, p.09-18, 2013.

MORITA, N.; MAEDA, T.; MIYAZAKI, M.; YAMAMORI, M.; MJURA, H.; OHTSUKA, I.

Dough and baking properties of highamylose and waxy wheat flours. **Cereal Chemistry**, v.79, p.491-495, 2002.

MORRIS, C.F.; DEMACON, V.L.; GIROUX, M.J. Wheat grain hardness among chromosome 5D homozygous recombinant substitution lines using different methods of measurement. **Cereal Chemistry Journal**. v.76, p.249-254, 1999.

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

MUNDSTOCK, C.M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: 228p. 1998.

NELSON, J.C.; ANDREESCU, C.; BRESEGHELLO, F.; FINNEY, P.L.; GAULBERTO, D.G.; BERGMAN, C.J.; PEÑA, R.J.; PERRETANT, M.R.; LEROY, P.; QUALSET, C.O. Quantitative trait locus analysis of wheat quality traits. **Euphytica**, v.149, p.145-159, 2006.

NOGUEIRA, M.A.; MELO, W.J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.655-663, 2003.

OLIVEIRA, E.L. de. **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 30p, 2003.

OLIVEIRA, J. **Metodologias analíticas**. Curitiba-PR: Granotec do Brasil, p.01-26, 2003.

OLIVER, J.R.; BLAKENEY, A.B.; ALLEN, H.M. The colour of flour streams as related to ash and pigment contents. **Journal of Cereal Science**, v.17, p.169- 182, 1993.

OORO, P.A.; MALINGA, J.N.; TANNER, D.G.; PAYNE, T.S. Implication of rate and time of nitrogen application on wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and quality in Kenya. **Journal of Animal e Plant Sciences**, v.9, p.1141-1146, 2011.

ORTOLAN, F. **Genótipos de trigo do Paraná – safra 2004: caracterização e fatores relacionados à alteração da Cor da Farinha**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 140p, 2006.

ORTOLAN, F.; HECKTHEUER, L.H.; MIRANDA, M.Z.de. Efeito do armazenamento à baixa temperatura (-4°C) na cor e no teor de acidez da farinha de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, p.55-59, 2010.

OSÓRIO FILHO, B.D.; RHEINHEIMER D.S.; SILVA L.S.; KAMINSKI, J.; DIAS G.F.

Deposição do enxofre atmosférico no solo pelas precipitações pluviais e respostas de culturas à adubação sulfatada em sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.37, p.712-719, 2007.

OSÓRIO FILHO, B.D.; RHEINHEIMER, D.S.; DIAS, G.F.; KAMINSKI, J.; SILVA, L.S.; BRUNETTO, G.; CASALI, C.A. Flutuação dos teores de sulfato na solução do solo em cultivos de feijoeiro e canola. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.15, p.71-75, 2009.

PALLARÉS, M.G.; LEÓN, A.E.; ROSELL, C.M. Trigo. In: LEÓN, A.E.; ROSELL, C.M. **De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación em Iberoamérica**. Córdoba: cap.1, p.17-71, 2007.

PAULETTI, V.; COSTA, L.C. **Calibração de doses de nitrogênio para trigo em plantio direto**. Castro: Fundação ABC. Relatório interno, 2002.

PENCKOWSKI, L.H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Nitrogênio e redutor de crescimento em trigo de alta produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.31, p.473-479, 2009.

PENCKOWSKI, L.H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Qualidade industrial do trigo em função do trinexapac-ethyl e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.1492-1499, 2010.

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

PINNOW, C.; BENIN, G.; VIOLA, R.; SILVA, C.L.da; GUTKOSKI, L.C.; CASSOL, L.C. Qualidade industrial do trigo em resposta à adubação verde e doses de nitrogênio. **Bragantia**, v.72, p.20-28, 2013.

PRABHASANKAR, P.; SUDHA, M.L.; RAO, P. Quality characteristics of wheat flour milled streams. **Food Research International**, v.33, p.381-386, 2000.

PRUSKA-KEDZIOR, A.; KEDZIOR, Z.; KLOCKIEWICZ-KAMINSKA, E. Comparison of viscoelastic properties of gluten from spelt and common wheat. **European Food Research Technology**, v.277, p.199-207, 2008.

RAO, S. C. Regional environment and cultivar effects on the quality of wheat straw. **Agronomy Journal**, v.81, p.939-943, 1989.

RHEINHEIMER, D.S.; ALVAREZ, J.W.R.; OSORIO FILHO, B.D.; SILVA, L.S.da; BORTOLUZZI, E.C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.35, p.562-569, 2005.

RHEINHEIMER, D.S.; SILVA, L.S.; CERETTA, C.A.; KAMINSKI, J.; PELLEGRINI, J.B.R. Desafios da fertilidade do solo: modelo e interdisciplinaridade. **Boletim Informativo da SBCS**, v.32, p.28-36, 2007.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M.C.C. **Bases ecofisiológicas para manutenção da qualidade do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 84p, 2010.

ROS, C.O.da; SALET R.L.; PORN, R.L.; MACHADO, J.N.C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.33, p.799-804, 2003.

RUITER, J.M.de; MARTIN, R.J. Management of nitrogen and sulphur fertilizer for improvement bread wheat (*Triticum aestivum*) quality. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v.29, p.287-299, 2001.

RYANT, P.; HRIVNA, L. The effect of S fertilization on yield and technological parameters of wheat grain. **Annals Universities Marie Curie - Klodowska**, ed.59, v.4, p.669-1678, 2004.

SAHOTA, T.S. **Importance of Sulphur in Crop Production**. Northwest Link. Disponível em: <<http://www.tbars.net/sulphur.pdf>>, p.10-12, 2006.

SANGOI, L.; BERNIS, A.C.; ALMEIDA, M.L.; ZANIN, C.G.; SCHWEITZER, C. Características agronômicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura. **Ciência Rural**, v.37, p. 1564-1570, 2007.

SCALCO, M.S.; FARIA, M.A.de; GERMANI, R.; MORAIS, A.R.de. Produtividade e qualidade industrial do trigo sob diferentes níveis de irrigação e adubação. **Ciência e Agrotecnologia**, v.26, p.400-410, 2002.

SCHADCHINA, T.M.; DMITRIEVA, V.V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, p.1427-1437, 1995.

SCHEEREN, P.L.; CUNHA, G.R.; QUADROS, F.J.S. de; MARTINS, L.F. **Efeito do frio em trigo**. Passo Fundo: EMBRAPA Trigo (Comunicado Técnico online, 57), 2p, 2000.

SCHEUER, P.M.; FRANCISCO, A.; MIRANDA, M.Z.; OGLIARI, P.J.; TORRES, G.; LIMBERGER, V.; MONTENEGRO, F.M.; RUFFI, C.R.; BIONDI, S. Characterization of Brazilian wheat cultivars for specific technological applications. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v.31, p.816-826, 2011.

SHAHSAVANI, S.; GHOLAMI, A. Effect of sulphur fertilization on breadmaking quality of three winter wheat varieties. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v.11,

p.2134-2138, 2008.

SHEWRY, P.R. Cereal seed storage protein. In: KIGEL, J.; GALILI, G. **Seed development and germination**. New York: Marcel Dekker, p.45-72, 1995..

SHEWRY, P.R.; GILBERT, S.; TATHAM, A.S.; BELTON, P.S. The high molecular weight subunits of wheat glutenin and their role in determining the functional properties of wheat gluten and dough. **Biopolymer Science: Food and Non Food Applications**, p.13-18, 1998.

SINGH, B.R. **Sulfur and Crop Quality - Agronomical Strategies for Crop Improvement**. Abstracts of Cost Action 829 Meetings, Braunschweig, Germany, p.15-18, 2003.

SMEAL, D.; ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, p.1495-1503, 1994.

STEINFURTH, D.; ZÖRB, C.; BRAUKMANN, F.; MÜHLING, K.H. Time dependent distribution of sulphur, sulphate and glutathione in wheat tissues and grain as affected by three sulphur fertilization levels and late S fertilization. **Journal of Plant Physiology**, v.169, p.72-77, 2012.

STIPP, S.R.; CASARIN, V.: **A importância do enxofre na agricultura brasileira**. Boletim: Informações Agronômicas, n.129, 2010.

SZÚCS, P.; VEISZ, O.; BEDŐ, Z. Frost tolerance of *Triticum durum* (Desf.) genotypes in soils with various moisture contents. **Cereal Research Communications**, v.31, p.153-160, 2003.

TAKAYAMA, T.; ISHIKAWA, N.; TAYA, S. The effect to the protein concentration and flour quality of nitrogen fertilization at 10 days after heading in wheat. **Japan Agricultural Research Quarterly**, v.40, p.291-297, 2006.

TANADA-PALMU, P.S.; GROSSO, C.R.F. Development and characterization of edible films based on glúten from semi-hard and soft Brazilian wheat flours (development of films based on gluten from wheat flours). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, 2003.

TEA, I.; GENTER, T.; NAULET, N.; LUMMERZHEIM, M.; KLEIBER, D. Interaction between nitrogen and sulfur by foliar application and its effects on flour bread-making quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v.87, p.2853-2859, 2007.

TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, R.C.F.; FREITAS, J.G.; ARF,

O.; SÁ, M.E. Resposta de cultivares de trigo irrigado por aspersão ao nitrogênio em cobertura na região do Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.29, p.421-425, 2007.

TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C.G.S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.797-804, 2010.

THOMASON, W.E.; PHILLIPS, S.B.; PRIDGEN, T.H.; KENNER, J.C.; GRIFFEY, C.A.; Beahm, B.R.; SEABOURN, B.W. Managing Nitrogen and Sulphur Fertilization for Improved Bread Wheat Quality in Humid Environments. **Cereal Chemistry**, v.84, p.450-462, 2007.

THOMASON, W.E.; PHILLIPS, S.B.; PRIDGEN, T.H.; KENNER, J.C.; GRIFFEY, C.A.; BEAHM, B.R. Managing nitrogen and sulfur fertilization for improved bread wheat quality in humid environments, **Cereal Chemistry**. v.84, p.450-462, 2007.

TIAN, Z.; JING, Q.; DAI, T.; JIANG, D.; CASO, W. Effects of genetic improvements on grain yield and agronomic traits of winter wheat in the Yangtze River Basin of China. **Field Crops Research**, v.124, p.417-425, 2011.

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

TRINDADE, M.G.; STONE, L.F.; HEINEMANN, A.B.; CÁNOVAS, A.D.; MOREIRA, J.A.A. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.24-29, 2006.

USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. **Estatísticas de oferta e demanda mundial de commodities agrícolas**. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline>>. Acesso em 27/02/2015.

VIEIRA, R. D.; FORNASIERI FILHO, D.; MINOHARA, L. Efeito de doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na produção e na qualidade fisiológica de sementes de trigo. **Científica**, v.23, p.257-264, 1995.

VIERSTRA, R.D. Proteolysis in plait: mechanisms and functions. **Plant Molecular Biology**, v.32, p.275-302, 1996.

WENDLING, A.; ELTZ, F.L.F.; CUBILLA, M.M.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; LOVATO, T. Recomendação de adubação nitrogenada para trigo em sucessão ao milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.31, p.985-994, 2007.

WENDT, W.; TEIXEIRA, J. B. As geadas e o trigo no Brasil. In. MOTA, F.S. da. **Agrometeorologia do trigo no Brasil**. Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p.65-74, 1989.

WHALEY, J.M.; KIRBY, E.J.M.; SPINK, J.H.; FOULKES, M.J.; SPARKES, D.L. Frost damage to winter wheat in the UK: the effect of plant population density. **European Journal of Agronomy**, v.21, p.105-115, 2004.

WIESER, H., GUTSER, R., VON TUCHER, S. Influence of sulphur fertilization on quantities and proportions of gluten protein types in wheat flour. **Journal of Cereal Science**, v.40, p.239-244, 2004.

WOLFFENBÜTTEL, R.; TEDESCO, M.J. Disponibilidade do enxofre para a alfafa em oito solos do Rio Grande do Sul e sua relação com os parâmetros do solo. **Agronomia Sulriograndense**, v.17, p.357-376, 1981.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v.20, p.557-585, 1921.

XU, G.; FAN, X.; MILLER, A.J. Plant Nitrogen Assimilation and Use Efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, v.63, p.153-82, 2012.

ZAGONEL, J.; VENANCIO, W.S.; KUNZ, R.P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, v.32, p.25-29, 2002.

ZHAO, F.J.; SALMON, S.E.; WITHERS, P.J.; MONAGHAN, J.M.; EVANS, E.J.; SHEWRY, P.R.; MCGRATH, S.P. Variation in the breadmaking quality and rheological properties of wheat in relation to sulphur nutrition under field conditions. **Journal of Cereal Science**, v.30, p.19-31. 1999.

ZHAO, F.T.; HAWKESFORD, M.T.; WARRILOW, A.G.S.; McGRANTH, S.P.; CLARKSON, D.T. Responses of two wheat varieties to sulphur addition and diagnosis of sulphur deficiency. **Plant and Soil**, v.181, p.317-327, 1996.