



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

RAPHAEL ROSSI SILVA

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE INDUSTRIAL DE
CULTIVARES DE TRIGO SOB MANEJOS DO NITROGÊNIO
EM COBERTURA EM DIFERENTES AMBIENTES DE
CULTIVO**

Londrina
2014

RAPHAEL ROSSI SILVA

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE INDUSTRIAL DE
CULTIVARES DE TRIGO SOB MANEJOS DO NITROGÊNIO
EM COBERTURA EM DIFERENTES AMBIENTES DE
CULTIVO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Agronomia da Universidade Estadual de Londrina,
como requisito parcial à obtenção do título de
Doutor em Agronomia.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Inês Cristina de Batista
Fonseca.

Co-Orientador: Dr. Carlos Roberto Riede.

Londrina
2014

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S586p Silva, Raphael Rossi.
Produtividade e qualidade industrial de cultivares de trigo sob manejos do nitrogênio em cobertura em diferentes ambientes de cultivo/ Raphael Rossi Silva. – Londrina, 2014.
85 f.: il.

Orientador: Inês Cristina de Batista Fonseca
Coorientador: Carlos Roberto Riede.
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2014.
Inclui bibliografia

1. Trigo – Fertilizantes nitrogenados – Adubação – Teses. 2. Trigo – Rendimento – Teses. 3. Trigo – Qualidade – Teses. 4. Produtividade agrícola – Teses. 5. Plantas – Efeito do nitrogênio – Teses. I. Fonseca, Inês Cristina de Batista. II. Riede, Carlos Roberto. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 633.11

RAPHAEL ROSSI SILVA

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE INDUSTRIAL DE CULTIVARES
DE TRIGO SOB MANEJOS DO NITROGÊNIO EM COBERTURA EM
DIFERENTES AMBIENTES DE CULTIVO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Agronomia da Universidade Estadual de Londrina,
como requisito parcial à obtenção do título de
Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora. Dr^a. Ines Cristina de Batista Fonseca
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Dr. Gustavo Adolfo de Freitas Fregonezi
Centro Universitário Filadélfia – UNIFIL

Dr^a Maria Brígida dos Santos Scholz
Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR

Dr. Claudemir Zucareli
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Dr. Alvadi Antônio Balbinot Júnior
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –
Embrapa

Londrina, 24 de março de 2014.

Dedico esse trabalho à minha esposa, Keiciany
Pereira Rosa e aos meus pais, Geraldo de Fátima
Silva e Maria Aparecida Rossi Silva

AGRADECIMENTOS

Sou grato,

A Deus, que me deu a oportunidade e me iluminou em mais essa fase da vida;
À minha esposa, Keiciany, por estar ao meu lado e por ser fonte de inspiração;

Aos meus pais que ensinaram que é possível crescer com honestidade e pelo apoio incondicional em minha carreira;

Ao Programa de Pós Graduação da Universidade Estadual de Londrina por conceder a oportunidade e o apoio para realizar o curso de doutorado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudos;

À minha orientadora Dr^a Ines Cristina de Batista Fonseca e ao co-orientador Carlos Roberto Riede pelo conhecimento compartilhado, sugestões e apoio ao longo desse estudo;

Ao Dr. Claudemir Zucareli pela orientação, pelo apoio, pela amizade e pelo conhecimento compartilhado que enobreceram o meu trabalho;

À Dr^a Maria Brígida dos Santos Scholz pela amizade, pelas longas conversas e a intensa troca de conhecimentos durante os dois anos no laboratório de Ecofisiologia do Instituto Agronômico do Paraná;

Ao Dr. Giovani Benin pelo apoio e orientação na realização de experimentos de campo que enriqueceram o meu trabalho de doutorado;

Ao Instituto Agronômico do Paraná, equipe do Laboratório de Ecofisiologia e equipe de campo por possibilitar a realização de experimentos, análises laboratoriais e à convivência no meio científico;

À Dr^a Martha Z. de Miranda (EMBRAPA Trigo) e à Valquíria C. da Silva (LCA) pela efetiva ajuda na realização de parte das análises de qualidade industrial de trigo;

Às diversas amigas firmadas durante o curso, algumas com significativa contribuição na minha formação pessoal e profissional.

A sabedoria do humilde
levantará a sua cabeça e o fará
sentar-se no meio dos grandes
(Eclesiástico, 11:1).

SILVA, Raphael Rossi. **Produtividade e qualidade industrial de cultivares de trigo sob manejos do nitrogênio em cobertura em diferentes ambientes de cultivo**. 2014. 85 f. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

RESUMO

O objetivo desse estudo foi caracterizar quatro cultivares de trigo, quanto à produtividade de grãos e qualidade industrial quando manejadas com nitrogênio em cobertura em diferentes condições ambientais. Foram conduzidos experimentos de campo no sistema de plantio direto sobre palhada de soja durante os anos de 2011 e 2012 em Londrina e Pato Branco, totalizando quatro ambientes. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Foram testadas quatro cultivares de trigo (parcela principal) em seis formas de manejo do nitrogênio (subparcelas). As cultivares testadas foram IPR Catuara TM, BRS Gaivota, Quartzo e CD 120. Foram avaliadas as seguintes características: número de grãos e de espigas por unidade de área, altura de plantas, massa de mil grãos, massa do hectolitro, produtividade de grãos, número de queda, volume de sedimentação com dodecil sulfato de sódio e teor de proteínas. As avaliações de alveografia e farinografia foram realizadas para os experimentos conduzidos em Londrina (2011 e 2012). Os dados foram submetidos à Análise de Variância Conjunta e ao Teste Tukey para comparação de médias. A produtividade de grãos varia, principalmente, em função do ambiente (combinação de ano e local). Em ambientes nos quais há baixa precipitação pluviométrica a adubação nitrogenada em cobertura pode ser suprimida. Em condições climáticas ideais para o crescimento e desenvolvimento do trigo a produtividade de grãos das cultivares de trigo testadas é incrementada com a adubação nitrogenada em cobertura independentemente da cultivar. A utilização de cultivares adequadas para cada ambiente é essencial na obtenção de elevado patamar produtivo. O teor de proteínas em trigo é afetado pela interação cultivares, nitrogênio e ambientes, sendo que o efeito do nitrogênio é variável entre cultivares. Além disso, o efeito do ambiente é superior ao efeito de nitrogênio e de cultivares sobre o teor de proteínas. O incremento no teor de proteínas reduz a produtividade de grãos das cultivares testadas. O volume de sedimentação com dodecil sulfato de sódio e o número de queda em trigo são influenciados pela interação cultivar e ambiente e, também, pelo manejo do nitrogênio. O teor de proteínas no grão tem baixa influência sobre o volume de sedimentação com dodecil sulfato de sódio, logo o manejo do nitrogênio em cobertura apresenta pouco efeito para essa variável resposta. O número de queda não varia entre cultivares quando o ambiente é propício à germinação na espiga. A utilização de nitrogênio em cobertura influencia o número de queda em trigo. Os resultados demonstram que a adubação nitrogenada não influencia os parâmetros de qualidade industrial. A interação cultivares e ambientes influencia os parâmetros de alveografia e absorção de água da massa. A estabilidade da massa depende da cultivar e do ambiente. Na cultivar Quartzo o aumento do teor de proteínas propicia incremento na força de glúten; para todas as cultivares o incremento no teor de proteínas reduz a estabilidade da massa.

Palavras chave: *Triticum aestivum* L. Componentes da produtividade de grãos. Qualidade de grãos. Força de glúten. Alveografia, Farinografia. Manejo do nitrogênio.

SILVA, Raphael Rossi. **Grain yield and industrial quality of wheat cultivars under topdressing nitrogen management in different environments**. 2014. 85 p. Doctoral Thesis in Agronomy – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

ABSTRACT

The aim of this study was to describe four wheat cultivars, as grain yield and industrial quality managed with nitrogen topdressing at different environmental conditions. Were carried out field experiments under no-tillage system on soybean mulch during the 2011 and 2012 years in Londrina and Pato Branco locations, resulting in four environments. The experimental design was a randomized block split plot with four replications. Four wheat cultivars (main plots) were evaluated in six levels of nitrogen (subplots). The wheat cultivars evaluated were IPR Catuara TM, BRS Gaivota, Quartzo, and CD 120. The following characteristics were evaluated: number of grains and number of spikes per unit area, plant height, thousand kernel weight, test weight, grain yield, falling number, sedimentation test with sodium dodecyl sulfate and protein content. The alveography and farinograph tests were performed for the experiments carried out in Londrina (2011 and 2012 years). Data were subjected to analysis of variance and Tukey test for comparison of mean. Grain yield fluctuates, mainly, depending of the environment (combination of year and location). In environments conditions that rainfall is low the nitrogen topdressing can be suppressed. In ideal weather conditions for the growth and development of wheat cultivars grain yield is improved with the nitrogen topdressing regardless of cultivar. The genetic management is essential in achieving high grain yield level. The wheat protein content is affected by the interaction of cultivars, nitrogen and environments, and the effect of nitrogen varies among cultivars. Moreover, the environmental effect is greater than the genotype and nitrogen effects over protein content. The increase in protein content reduces grain yield of the cultivars tested. The sedimentation test with sodium dodecyl sulfate and falling number in wheat are influenced by the interaction between cultivar and environment and influenced by the nitrogen. The protein content of grain has low influence on sedimentation test with sodium dodecyl sulfate, thus the nitrogen management in topdress has little effect on this response variable. The falling number does not vary among cultivars when the environment is suitable to pre-harvest sprouting. The use of nitrogen influences the falling number in wheat. The results shows that nitrogen does not influence the parameters of industrial quality. The interaction of cultivars and environments influence parameters alveography and water absorption of the dough. The dough stability depends of the cultivar and the environment. In cultivating Quartzo cultivar the increase in protein content provides an increase in the strength of gluten; all cultivars that showed increased the protein content reduces the stability of the dough.

Keywords: *Triticum aestivum* L. Grain yield components. Grain quality. Gluten strength. Alveography. Farinograp. Nitrogen management.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO A: Adubação nitrogenada de cobertura e ambientes de cultivo no desempenho produtivo de cultivares de trigo

Figura 1.1 –Precipitação pluvial, temperaturas mínima e máxima referentes ao ambiente A1 – Londrina, 2011 (A), ambiente A2 – Londrina, 2012 (B), ambiente A3 – Pato Branco, 2011 (C) e ambiente A4 – Pato Branco, 2012 (D). SM – semeadura, NA – antese, MC – maturação de colheita..... 35

ARTIGO B: Formas de manejo do nitrogênio em cobertura, cultivares e ambientes de cultivo na qualidade de grãos de trigo

Figura 2.1 –Precipitação pluvial, temperatura mínima e máxima referentes aos ambientes A1 – Londrina, 2011 (A), ambiente A2 – Londrina, 2012 (B), ambiente A3 – Pato Branco, 2011 (C) e ambiente A4 – Pato Branco, 2012 (D). SM – semeadura, NA – antese, MC – maturação de colheita..... 51

Figura 2.2 –Correlação de Pearson ao nível de 5% de probabilidade de erro produtividade de grãos vs teor de proteínas (A), teor de proteínas vs volume de sedimentação com dodecil sulfato de sódio (B) e análise de regressão 57

Figura 3.1 –Precipitação pluvial, temperatura mínima e máxima referentes ao ambiente 1 – Londrina, 2011 (A), ambiente 2 – Londrina, 2012 (B) 67

LISTA DE TABELAS

ARTIGO A: Adubação nitrogenada de cobertura e ambientes de cultivo no desempenho produtivo de cultivares de trigo	
Tabela 1.1 – Genealogia, características agrônômicas e tecnológicas das cultivares testadas.	34
Tabela 1.2 – Características químicas do solo na camada de 0-20 cm, nos quatro ambientes estudados.	36
Tabela 1.3 – Análise de variância para a altura de plantas (AP), o número de espigas m ⁻² (NEA), número de grãos m ⁻² (NGA), massa de mil grãos (MMG), massa do hectolitro (MH), e produtividade de grãos (PG) de trigo em diferentes ambientes de cultivo, cultivares e manejo do N em cobertura.	39
Tabela 1.4 – Médias do número de espigas por unidade de área, da massa de mil grãos, da altura de plantas, da massa do hectolitro e do número de grãos por unidade de área de cultivares de trigo em diferentes ambientes e formas de manejo do nitrogênio em cobertura.	41
Tabela 1.5 – Médias da produtividade de grãos de cultivares de trigo em diferentes ambientes e formas de manejo do nitrogênio em cobertura.	44
ARTIGO B: Formas de manejo do nitrogênio em cobertura, cultivares e ambientes de cultivo na qualidade de grãos de trigo	
Tabela 2.1 – Características químicas de solo na camada de 0-20 cm, nos quatro ambientes estudados.	49
Tabela 2.2 – Análise de variância para o teor de proteínas (TP), teste de sedimentação com dodecil sulfato de sódio (SSDS) e número de queda (NQ) de quatro cultivares de trigo em seis formas de manejo do nitrogênio e quatro ambientes.	54
Tabela 2.3 – Comparação de médias para o teor de proteínas (%) de quatro cultivares de trigo sob seis formas de manejo do nitrogênio em quatro ambientes.	55

Tabela 2.4 – Comparação de médias para o teste de sedimentação com dodecil sulfato de sódio e do número de queda de 4 cultivares de trigo cultivadas em quatro ambientes e média do efeito da adubação nitrogenada em cobertura.	59
ARTIGO C: Influência do nitrogênio, ambiente e cultivares na qualidade industrial de trigo	
Tabela 3.1 – Características químicas de solo na camada de 0-20 cm, nos dois ambientes estudados.	64
Tabela 3.2 – Análise de variância conjunta para alveografia e farinografia de cultivares de trigo em diferentes formas de manejo do nitrogênio e condições ambientais.	69
Tabela 3.3 – Comparação de médias da força de glúten (10-4 J), elasticidade (mm), extensibilidade (mm), relação P/L e absorção de água (%) na interação cultivares e ambientes e médias de estabilidade (minutos) da massa para os efeitos de cultivares e ambientes.	70

LISTA DE ABREVIATURAS

VCU	Valor de Cultivo e Uso
t ha ⁻¹	tonelada por hectare
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
Cfa	Clima subtropical
Cfb	Clima temperado
PH	Peso do hectolitro
MMG	Massa de mil grãos
TP	Teor de proteínas
FN	Número de queda
L	Extensibilidade
P	Tenacidade
W	Força de glúten
GLI	Gliadinas
GLU	Gluteninas
HMW	Alto peso molecular
LMW	Baixo peso molecular
EM-DA	Emergência-Duplo anel
DA-ET	Duplo anel-Espigueta terminal
ET-AN	Espigueta terminal-antese
NA-MF	Antese-Maturação fisiológica
QF	Quociente fototermal
°C	Graus Celsius
MJ	Mega Joule
S	Enxofre
N	Nitrogênio
AP	Altura de plantas
NEA	Número de espigas por unidade de área (m ²)
NGA	Número de grãos por unidade de área (m ²)
PG	Produtividade de grãos
SSDS	Teste de sedimentação com dodecil sulfato de sódio
IAPAR	Instituto Agronômico do Paraná

EST	Estabilidade da massa
AAM	Absorção de água da massa
NIR	Infravermelho próximo
ANOVA	Análise de variância

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO TRIGO	17
2.2	CARACTERÍSTICAS DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA PLANTA DE TRIGO	18
2.3	QUALIDADE INDUSTRIAL	19
2.3.1	Aspectos Gerais da Qualidade Industrial	19
2.3.2	Tipos de Proteínas	20
2.3.3	Número de Queda	21
2.3.4	Teste de Microsedimentação com Dodecil Sulfato de Sódio	22
2.4	FATORES QUE AFETAM A PRODUÇÃO E QUALIDADE DE GRÃOS EM TRIGO	22
2.4.1	Fatores Climáticos	22
2.4.1.1	Temperatura e radiação solar	22
2.4.1.2	Precipitação pluvial	25
2.4.2	Adubação Nitrogenada	26
3	ARTIGO A: ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA E AMBIENTES DE CULTIVO NO DESEMPENHO PRODUTIVO DE CULTIVARES DE TRIGO	30
3.1	INTRODUÇÃO	31
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	32
3.2.1	Local e Delineamento Experimental	32
3.2.2	Implantação dos Experimentos e Tratamentos	33
3.2.3	Avaliações Agronômicas e Estatística	35
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
3.4	CONCLUSÕES	45
4	ARTIGO B: FORMAS DE MANEJO DO NITROGÊNIO EM COBERTURA, CULTIVARES E AMBIENTES DE CULTIVO NA QUALIDADE DE GRÃOS DE TRIGO	46
4.1	INTRODUÇÃO	47

4.2	MATERIAL E MÉTODOS	48
4.2.1	Local e Delineamento Experimental	48
4.2.2	Implantação dos Experimentos e Tratamentos	50
4.2.3	Avaliações e Análise Estatística	51
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.4	CONCLUSÕES	60
5	ARTIGO C: INFLUÊNCIA DO NITROGÊNIO, AMBIENTE E CULTIVARES NA QUALIDADE INDUSTRIAL DE TRIGO	61
5.1	INTRODUÇÃO	62
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	64
5.2.1	Local e Delineamento Experimental	64
5.2.2	Implantação dos Experimentos e Tratamentos	65
5.2.3	Avaliações e Análise Estatística	65
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
5.4	CONCLUSÕES	73
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO GERAL

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma poaceae anual e um dos mais antigos cultivos explorados pelo homem, possuindo significativa importância na alimentação humana, animal e na indústria. No Brasil a produção está concentrada na Região Sul, a qual é responsável por mais de 90% da produção nacional. No Brasil, anualmente são produzidas, aproximadamente, 5 milhões de toneladas, contudo o consumo é o dobro do volume produzido. Nesse cenário destaca-se o Paraná por ser o maior produtor do cereal respondendo por 50% da produção nacional.

Historicamente, produzir trigo no Brasil de forma competitiva é um dos desafios da agricultura brasileira. As dificuldades ocorrem porque o cultivo de trigo é realizado em diversas condições edafoclimáticas, que interagem negativamente com os genótipos e que comprometem o rendimento e a qualidade industrial ou até mesmo tornar a atividade inviável economicamente. Apesar das dificuldades, o país dispõe de condições climáticas adequadas, estrutura de produção, assistência técnica capacitada e constante desenvolvimento de cultivares.

O cultivo de trigo no estado do Paraná está dividido em três regiões homogêneas (VCU 1, 2 e 3), as quais diferem entre si quanto ao clima. O trigo produzido na região Norte do Paraná (VCU 3), possui a vantagem de ser colhido antes em relação ao trigo oriundo da região ao Sul do estado, o que favorece negociações mercadológicas. Além disso, também é favorecido porque, frequentemente, as condições climáticas permitem a obtenção de melhor qualidade industrial. Contudo, na região Norte do estado, a produtividade de grãos, normalmente, é inferior ao que é obtido em regiões mais frias.

Para maximizar a produtividade de grãos na cultura do trigo, com média nacional entre 1,8 a 2,5 t ha⁻¹, há diversas práticas de manejo eficientes como o emprego de cultivares adaptadas a cada região de cultivo, semeadura em época favorável, aplicação de defensivos agrícolas e manejo da fertilidade do solo. Na cultura do trigo, o nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes porque é integrante dos processos bioquímicos da planta e é constituinte de proteínas, enzimas, ácidos nucleicos e clorofilas. Esse nutriente apresenta significativa contribuição no incremento da produtividade e alguns relatos afirmam que pode melhorar a qualidade industrial em trigo.

Contudo, devido ao constante melhoramento genético e, conseqüente, lançamento de cultivares no mercado é preciso melhor compreensão se as cultivares disponíveis no mercado são responsivas à utilização do nitrogênio e se a resposta é

consistente nos diversos ambientes de cultivo. No tocante à relação entre a qualidade e utilização de nitrogênio, é importante a compreensão de que a qualidade industrial de trigo é dependente de vários fatores tais como, moagem, propriedades químicas, genética, ambiente dentre outras, o que torna a qualidade um fator complexo.

Sendo assim, o objetivo desse estudo foi caracterizar quatro cultivares, quanto à produtividade de grãos e a qualidade industrial quando manejadas com nitrogênio em cobertura em diferentes condições ambientais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO TRIGO

Um dos cultivos mais antigos explorados pelo homem, o trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma planta de ciclo anual, com importância na alimentação humana e animal e larga utilização na indústria. Mundialmente, são produzidas mais de 700 milhões de toneladas do cereal a cada ano. Considerando a produção mundial de grãos, a cultura do trigo responde por 30% do volume produzido. Os principais produtores de trigo no mundo são: União Europeia (20,6%), China (17,2%), a Índia (12,2%), os EUA (9,1%) e a Rússia (8,3%). A área destinada para produção de trigo no mundo tem sido de, aproximadamente, 210 milhões de hectares, com pequenas variações ao longo dos anos. Nos últimos 10 anos (2004-2014), o incremento no volume produzido de trigo foi de 4%, enquanto que o consumo aumentou em 7% (USDA, 2013).

A importância do cereal no Brasil está associada à sustentabilidade de inúmeras propriedades rurais e em constituir parte do sistema de rotação/sucessão de culturas. A produção brasileira do cereal na safra 2013/2014 foi de, aproximadamente, 5,4 milhões de toneladas, em uma área cultivada de 2,2 milhões de hectares e com produtividade média de 2,3 toneladas ha⁻¹ e máxima de 7 toneladas ha⁻¹ (irrigado). A área semeada de trigo na safra 2013/14 apresentou um incremento de 15,7% e o volume produzido incrementou em 25% em relação à safra anterior (CONAB, 2013). Contudo, o volume produzido supre, aproximadamente, metade desta demanda, além de apresentar oscilações no decorrer dos anos. Essa instabilidade produtiva se deve, principalmente, à variação climática (SILVA et al., 2011); bem como políticas de governo, custos de produção e questões mercadológicas (BRUM e MÜLLER, 2008).

No Paraná, a cultura ocupou uma área de 977 mil hectares na safra 2013/2014, representando um incremento de 26% em relação à safra anterior, porém com redução de 15% no volume produzido. A expressiva redução no volume produzido é devido às perdas por geadas e pelo excesso de chuvas em junho que favoreceu o aparecimento de doenças fúngicas. Historicamente, o Estado do Paraná produz, cerca de, 50% da produção sendo o maior produtor brasileiro deste cereal; contudo devido às perdas da última safra o Estado do Rio Grande do Sul se destacou no volume produzido, com 58% da produção nacional (CONAB, 2013). Dentre os fatores que tornam o Paraná o maior produtor nacional tem-se a baixa ocorrência de geadas tardias, a colheita antecipada (Norte do Paraná) em

relação aos demais Estados do Sul e a proximidade com o maior centro consumidor e processador de trigo (BRUM; MÜLLER, 2008). Apesar disso, há a ocorrência das classes climáticas Cfa (Clima subtropical) e Cfb (Clima temperado) e variação de altitude (0 a 1300 metros) (CARAMORI et al., 2001), o que altera a produtividade de grãos (CUNHA et al., 2005).

Apesar dos diversos problemas na cadeia produtiva do trigo, há excelentes resultados da cultura do trigo que são devidos, principalmente, ao intenso melhoramento genético e manejo cultural. A elevação do patamar de produtividade de grãos depende, principalmente, do entendimento dos fatores de manejo da cultura e do ambiente que são determinantes do potencial de rendimento de grãos. Nesse sentido, nos últimos 50 anos ocorreu significativo incremento no rendimento de grãos (RODRIGUES et al., 2007; TIAN et al., 2011). O incremento de produtividade obtido foi, principalmente, devido ao aumento do índice de colheita, redução da altura de plantas e aumento do número de grãos por unidade de área (RODRIGUES et al., 2007; ZHOU et al., 2007; TIAN et al., 2011). Contudo, ocorreu significativo incremento no uso de fertilizantes químicos, principalmente fertilizantes nitrogenados. Assim, parte do ganho no rendimento pode ser atribuído ao maior uso de nitrogênio na cultura do trigo (TIAN et al., 2011).

Outro aspecto importante é que o mercado têm exigido grãos com boas características físico-químicas que permitam a obtenção de produtos com alta qualidade, sendo crucial na comercialização do trigo. O adequado ajuste entre a fisiologia, fenologia e as condições ambientais impacta positivamente na produtividade de grãos e qualidade industrial em trigo (RIBEIRO et al., 2009).

2.2 CARACTERÍSTICAS DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA PLANTA DE TRIGO

O conhecimento dos estádios críticos para definição do rendimento em trigo é fundamental para o manejo orientado para potenciais elevados. O desenvolvimento consiste em mudanças morfológicas (fases fenológicas) que identificam a evolução da planta; enquanto que o crescimento consiste na mudança da forma e tamanho dos órgãos devido ao acúmulo de matéria seca ao longo do ciclo da cultura. Tanto o desenvolvimento quanto o crescimento são afetados pelas condições ambientais como, por exemplo, temperatura e radiação solar (PORTER; GAWITH, 1999).

A identificação das fases de desenvolvimento pode ser realizada pela morfologia externa ou pela morfologia do ápice de crescimento (SLAFER; RAWSON, 1994). Na primeira técnica o desenvolvimento se quantifica de acordo com as características externas da

planta, facilmente identificadas: perfilhamento (3 a 4 folhas), folha bandeira, espiga emborrachada, aparecimento da espiga, floração, grão leitoso, grão pastoso e maturação. Por outro lado, o estágio de desenvolvimento quantificado pelo grau de desenvolvimento do ápice de crescimento, de visualização mais complexa, apresenta quatro etapas principais: período compreendido entre i) semeadura (SM) – duplo anel (DA); ii) duplo anel – espiguetas terminal (ET); iii) espiguetas terminal – antese (NA) e; iv) antese – maturação fisiológica (MF).

Apesar de ambos os critérios serem adequados e aceitos pela comunidade científica, em algumas situações o critério baseado na aparência externa da planta é inadequado. A adubação de cobertura é uma das práticas na qual o critério comumente utilizado é o da aparência externa (SANGOI et al., 2007; TEIXEIRA FILHO et al., 2007; BENIN et al., 2012). No entanto, sugere-se que a adubação de cobertura seja realizada no estágio de espiguetas terminal, pois nessa fase se observa as máximas taxas de crescimento e absorção de nitrogênio (RODRIGUES et al., 2001). Dessa maneira, o manejo da cultura deve levar em consideração a correta identificação das diferentes fases fenológicas, sendo crucial no manejo para elevada produtividade de grãos.

As fases importantes na formação do rendimento de grãos em trigo passa pela expansão da área foliar, determinação do número e enchimento de grãos. Disso, resulta que o rendimento potencial de uma lavoura de trigo pode ser estimado pelo produto entre o número de grãos por área e a massa do grão; portanto são componentes fundamentais na formação do rendimento de grãos em trigo. O primeiro componente é definido no subperíodo ET-AN e o segundo no subperíodo AN-MF (CUNHA et al., 2005).

2.3 QUALIDADE INDUSTRIAL

2.3.1 Aspectos Gerais da Qualidade Industrial

A qualidade de trigo não pode ser expressa por apenas uma propriedade, sendo dependente de várias avaliações e cada avaliação é importante conforme o produto final (Finney et al., 1987). As características que impactam a qualidade do trigo podem ser divididas em dois grupos principais: a) atributos inerentes, que possuem controle genético, como proteínas, dureza do grão, germinação na espiga entre outros; b) atributos influenciados por fatores de ambiente, como teor de proteínas, massa do grão, conteúdo de grãos chochos, germinação na espiga dentre outros.

A qualidade de grãos é expressa por um conjunto de parâmetros como o peso hectolitro (PH), massa de mil grãos (MMG), teor de proteína (TP), número de queda (FN) e alveografia. A alveografia tem como principais medidas a extensibilidade (L), a tenacidade (P) e a força geral do glúten (W). Conforme a classificação da qualidade, a farinha produzida tem diferentes finalidades como, por exemplo, a fabricação de biscoitos, pão e massas. O amido e as proteínas são os principais constituintes da farinha de trigo (TRIBOI; TRIBOI-BLONDEL, 2002). A quantidade e a composição da proteína são influenciadas pelas condições ambientais, como temperatura, disponibilidade hídrica e, também, disponibilidade de nutrientes para as plantas (CORBELINI et al., 1998).

O teor de proteína nos grãos de trigo é o mais importante parâmetro analisado na análise dos atributos de qualidade em trigo (MANDARINO, 1993). Os compostos derivados da assimilação fotossintética (amido e óleo) são, aproximadamente, 80% do peso do grão, conforme a espécie. Por outro lado, o acúmulo de proteínas no grão é de apenas 10-20% da massa do grão (TRIBOI; TRIBOI-BLONDEL, 2002; BARNEIX, 2007). Portanto, qualquer aumento no acúmulo de amido provoca diluição do teor de proteína se ela não for acompanhada de aumento no acúmulo de nitrogênio. Contudo, existe correlação negativa entre rendimento de grãos e teor de proteínas, pois o rendimento de grãos é função da assimilação fotossintética, dificultando a obtenção de elevado rendimento e qualidade concomitantemente.

2.3.2 Tipos de Proteínas

Do ponto de vista funcional, o trigo é caracterizado por dois grupos de proteínas: as proteínas não-glúten (15 a 20% do total de proteínas do trigo), sem função na panificação e as proteínas glúten, com significativa importância na panificação. O glúten é a denominação que se dá aos dois grupos principais de proteínas: as gliadinas (GLI) e as gluteninas (GLU). As proteínas do glúten são insolúveis em água ou em soluções salinas, sendo encontradas no endosperma do grão maduro onde formam uma matriz contínua em volta dos grânulos de amido.

A qualidade do grão de trigo é determinada pelas proteínas do glúten, que consiste de proteínas monoméricas (gliadinas) e poliméricas (gluteninas). As gliadinas podem ser classificadas em ω 5-, ω 1,2-, α - e γ -, conforme a estrutura primária. As gluteninas (GLU) podem ser de alto peso molecular (HMW) ou de baixo peso molecular (LMW), que formam grandes agregados de proteína. A constituição protéica do glúten é: 28 a 33% de GLI α/β , 23 a 31% de GLI γ , 19 a 25% de GLU-LMW, 3 a 6% de GLI ω 5-, 4 a 7% de ω 1,2- e 7 a 13% de GLU-HMW.

Na prática, o glúten refere-se apenas às proteínas, porque essas desempenham um papel fundamental na determinação da qualidade da tecnológica (WIESER, et al., 2008).

As gliadinas apresentam baixa elasticidade (P) e coesividade (W), mas são importantes na determinação da viscosidade e extensibilidade (L) da massa. Em contraste, as GLU são coesivas e elásticas, sendo responsáveis pela força de glúten e elasticidade. Assim sendo, uma mistura adequada de ambas as frações (gliadinas e gluteninas) é essencial para conferir as propriedades viscoelásticas da massa (WIESER, 2007). Adicionalmente, é importante que o glúten apresente adequada proporção de gluteninas HMW e LMW (SHEWRY; HALFORD, 2002).

As proteínas α - e γ -gliadina juntamente com LMW-GLU contém cisteínas, sendo as cisteínas importantes na manutenção da estrutura e funcionalidade do gluten, pois atuam na formação das pontes de dissulfeto. Por outro lado, as GLI- ω -são compostas completamente por sequências curtas, geralmente com ausência de cisteínas, que impedem a participação de polipeptídios no glúten (WIESER, 2007).

2.3.3 Número de Queda

O número de queda (FN), expresso em segundos, define a germinação pré-colheita em trigo, a qual apresenta influência direta na qualidade industrial da farinha. Comumente, a germinação pré-colheita é ocasionada por chuvas próximo à colheita; contudo certas cultivares apresentam baixo FN, mesmo que as condições ambientais não sejam favoráveis à germinação na espiga (BARNARD; SMITH, 2012), o que indica que o nível de alfa-amilase é uma característica genética.

O método do FN baseia-se na capacidade da enzima alfa-amilase para liquefazer o amido gelatinizado. O FN é amplamente utilizado para avaliação do grão de trigo, embora não seja uma medida direta da atividade da enzima alfa-amilase. Contudo, um aumento da germinação pré-colheita é indicada por uma diminuição no valor do FN (KOSMOLAK; DICK, 1981).

A fabricação de pães com farinhas de trigo de alta germinação pré-colheita, resulta em um baixo volume do pão (NEETHIRAJAN et al., 2007). Isso ocorre porque níveis excessivos de alfa-amilase degradam o amido e reduz a viscosidade da massa. Nesse aspecto, a legislação brasileira exige que o valor do FN seja de, no mínimo, 220 segundos para que a farinha seja enquadrada como adequada para panificação (classe pão).

2.3.4 Teste de Microsedimentação com Dodecil Sulfato de Sódio

A necessidade de um teste de qualidade que se correlaciona de forma significativa com características conhecidas na qualidade da farinha para panificação, que seja de rápida execução, eficiente e de baixo custo levou ao desenvolvimento do teste de sedimentação desenvolvido por Zeleny (1962).

À semelhança do teste de Zeleny o teste de microsedimentação (DICK; QUICK, 1983) com dodecil sulfato de sódio (SSDS) utiliza uma solução de ácido láctico, associada ao detergente dodecil sulfato de sódio. Esse teste é influenciado pela quantidade e qualidade da proteína, além de apresentar variações quando não executado com rigoroso controle de temperatura ambiente (DICK; QUICK, 1983). O valor de sedimentação descreve o grau de sedimentação de farinha suspensa, durante um intervalo de tempo padrão e esta é tomada como uma medida da qualidade de panificação da farinha. Tanto um elevado teor de glúten quanto uma melhor qualidade do glúten dão origem à uma sedimentação mais lenta e, conseqüentemente, valores mais elevados do SSDS (SHEWRY; TATHAM, 2000). Valores elevados de SSDS, indicam alto potencial de boa qualidade para panificação.

O teste de Zeleny e o de microsedimentação com dodecil sulfato de sódio apresentam significativa correlação positiva com o teor de proteínas (De VILLIERS; LAUBSER, 1995; HRUŠKOVÁ; FAMERA, 2003), com parâmetros de alveografia e farinografia (GRÖGER et al., 1997). Contudo, não pode ser considerado como único parâmetro na determinação da qualidade tecnológica das cultivares de trigo (KHATKAR et al., 1996).

2.4 FATORES QUE AFETAM A PRODUÇÃO E QUALIDADE DE GRÃOS EM TRIGO

2.4.1 Fatores Climáticos

2.4.1.1 Temperatura e radiação solar

O rendimento potencial do trigo é afetado por vários fatores, entretanto a temperatura e radiação solar são um dos mais importantes e os de maior variabilidade espacial e temporal. O efeito da temperatura sobre a cultura do trigo pode ser determinante em diferentes fases do desenvolvimento da cultura. Temperaturas elevadas tendem a diminuir o ciclo devido à aceleração do acúmulo de graus-dias (SIAL et al., 2005).

Estudos demonstraram a influência da radiação, da temperatura e do quociente entre ambas as variáveis sobre o desempenho da cultura do trigo (FISCHER, 1985; MAGRIN et al., 1993). Cunha et al. (2005) estudando a implicação da temperatura e da radiação solar na formação do rendimento em trigo concluíram que o ideal é que ocorra alta radiação solar e temperatura amena entre as fases de espiguetas terminal e antese. Tais parâmetros são considerados como indicador de potencial de rendimento de grãos para a cultura, pois temperaturas amenas possibilitam maior duração das fenofases da cultura. Quando as fenofases possuem maior duração há maior diferenciação de afilhos, primórdios florais e aumento da fertilidade dos mesmos, bem como contribui no número e no enchimento de grãos (FISCHER, 1985; MORAL et al., 2004).

As geadas tem efeito direto na formação de grãos, apresentando efeito negativo a partir do alongamento, pois há aumento no conteúdo hídrico e baixa concentração de solutos existentes nas células, com aumento do ponto de congelamento, tornando a planta menos tolerante à geadas (GUSTA et al., 2004). Se ocorrer no espigamento, ocasiona estrangulamento dos colmos, queima das folhas e dos primórdios frutíferos, com impedimento da formação do grão culminando, com a perda total na produção de grãos (SILVA et al., 2008).

Mesmo na ausência de geadas, temperaturas próximas à 5°C são indesejáveis à cultura do trigo, por retardarem o desenvolvimento da planta (FISCHER, 1985). Com mais detalhes, Rodrigues et al. (2001) indicou temperaturas base de 2.1, 4.8, 8.4 e 8°C, para as fenofases emergência-duplo anel (EM-DA), duplo anel-espiguetas terminal (DA-ET), espiguetas terminal-antese (ET-AN) e antese-maturação fisiológica (AN-MF), respectivamente.

Ao contrário, temperatura elevada acelera o metabolismo, encurta o ciclo (SLAFER; RAWSON, 1994) e causam distúrbios fisiológicos à cultura do trigo, que podem resultar em redução no peso, número e rendimento de grãos (WHEELER et al., 1996; GIBSON; PAULSEN, 1999; GAJU et al., 2009).

A temperatura desempenha papel fundamental na determinação da época de semeadura e, conseqüentemente, na duração das fenofases que, por sua vez, afetam a produtividade da cultura (TEWARI; SINGH, 1993; RODRIGUES et al., 2001). Assim, o conhecimento da duração de cada fase do desenvolvimento e sua associação com o rendimento é essencial para maximizar o rendimento de grãos. A inclusão da temperatura na contabilização do tempo vegetal é imprescindível, sendo realizada pelo uso da soma térmica, cuja unidade é o grau dia (GILMORE JUNIOR; ROGERS, 1958), definido como a soma

diária de unidades térmicas acima de uma temperatura base inferior, abaixo da qual a planta não se desenvolve ou seu desenvolvimento é extremamente lento (MCMASTER; WILHELM, 1997).

O rendimento potencial de uma lavoura de trigo pode ser obtido, matematicamente, pelo produto entre o número de grãos por área e a massa do grão, sendo, portanto, fundamentais na formação do rendimento de grãos em trigo. O primeiro componente é definido no subperíodo ET-AN e o segundo no subperíodo AN-MF (CUNHA et al., 2005). Assim, a obtenção de melhorias no rendimento de grãos deve levar em consideração a possibilidade do aumento do número de grãos por área e da duração de enchimento do grão (GAJU et al., 2009; SILVA et al., 2014).

Baseado na importância da temperatura e radiação solar Fischer (1985) definiu que, também, é importante a relação entre essas duas variáveis na formação do rendimento de grãos, que é denominada de quociente fototermal (QF). Os fundamentos teórico-experimentais discutidos por Fischer (1985) definiu a existência de estreita relação entre o QF e o número de grãos por área, e tem sido usado como ferramenta de avaliação das disponibilidades de ambiente em termos de potencial de rendimento para trigo (MAGRIN, 1993; SILVA et al., 2014).

Em trigo primaveril, Fischer (1985) e Magrin et al. (1993) observaram que há relação linear positiva para o número de grãos por área quando há aumento do QF nos 25 a 30 dias que antecedem à antese. Em ambos os estudos, observou-se um aumento de, aproximadamente, 50% no número total de grãos por unidade de área quando o QF passou de 1,0 para 2,0 MJ m⁻² dia⁻¹ C^{o-1}, confirmando a importância desta relação na formação do rendimento para a cultura do trigo. Desta forma, para o alongamento da duração do período anterior a antese, mais especificamente do subperíodo ET-AN, faz-se necessário escolher regiões de cultivo e épocas de semeadura mais adequadas, ou seja, com maior QF, visando à maior diferenciação de órgãos florais e, conseqüentemente, rendimento de grãos. A temperatura afeta a qualidade de grãos de trigo (MULLARKEY; JONES, 2000; TRIBOI; TRIBOI-BLONDEL, 2002). Quando acima de 16°C há alteração na massa do grão, na deposição de amido e no acúmulo de proteína (FRANCESCHI et al., 2009).

A deposição de amido é prejudicada em alta temperatura, pois há redução da atividade das enzimas responsáveis pela conversão de sacarose em amido (JENNER, 1994; LABUSCHAGNE et al., 2009). Assim, quando o trigo é submetido a alta temperatura a massa de grãos é afetada, porque o amido é o maior constituinte do grão, ou seja, com a redução do amido há redução na massa do grão.

Ao contrário do amido, o teor de proteínas aumenta quando ocorre temperatura elevada (TRIBOI; TRIBOI-BLONDEL, 2002; GOODING et al., 2003; LABUSCHAGNE et al., 2009), o que indica aumento na força da massa para panificação. Assim, à medida que aumenta a força da massa (W) há melhoria na qualidade para panificação. Quando ocorre temperatura acima de 32°C há alteração na composição da proteína acumulada, afetando negativamente a W (PETERSON et al., 1998).

Portanto, estresse por calor aumenta a relação GLI/GLU, pois o acúmulo de GLU decresce mais do que as GLI, prejudicando a qualidade da massa produzida (STONE et al., 1997). Além disso, alta temperatura diminui a síntese de gluteninas de alto peso molecular (HMW), resultando em menor W (CORBELINI et al., 1998).

2.4.1.2 Precipitação pluvial

A maioria das culturas apresentam um fase durante o desenvolvimento da planta no qual a deficiência hídrica causa maior redução no rendimento de grãos. A deficiência hídrica provoca alterações no comportamento vegetal cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta.

De acordo com Zhang e Oweis (1999), há maior redução no rendimento de grãos em trigo quando a deficiência hídrica ocorre próximo ao espigamento. A redução no rendimento de grãos decorrente da deficiência hídrica é devido a alteração no afilhamento da planta de trigo (LAWLOR et al., 1981), redução da área foliar e alteração na eficiência do uso de água pela planta.

De maneira geral, não se observa efeito sobre o rendimento de grãos quando a desidratação ocorre até -2,0 MPa, independentemente do estágio de desenvolvimento. Contudo, desidratação superior a -2,0 MPa no estágio de folha-bandeira causa redução no rendimento de grãos, enquanto que no perfilhamento, quarta folha e grão leitoso não ocorre efeito do déficit hídrico. Além disso, dentre os componentes do rendimento o mais afetado pela deficiência hídrica é o número de grãos por espiga (RODRIGUES et al., 1998).

Na literatura há relatos contrastantes sobre o efeito do estresse hídrico na qualidade de grãos de trigo e na composição da proteína, sendo esses efeitos variáveis em função, principalmente, das condições ambientais como a temperatura.

O excesso de chuvas no período inicial de maturação reduzem o teor de cinzas do grãos, e promovem decréscimo no rendimento de farinha e no escore de moagem. Por outro lado, chuva na maturação provoca a diminuição nos parâmetros de farinografia (exceto absorção

de água), de extensografia e amilografia (GUARIENTI et al., 2005), pois ocorre o processo de germinação na espiga.

No caso de ocorrência de seca, se esta for após a antese não há alteração nos componentes do rendimento como, por exemplo, o número de grãos, sendo diminuído apenas a produção de assimilados (TRIBOI; TRIBOI-BLONDEL, 2002), comprometendo a massa de grãos. Quando ocorre déficit hídrico moderado durante o enchimento de grãos há incremento na massa dos grãos, composição do amido e na qualidade de panificação do trigo colhido. O incremento na massa dos grãos ocorre devido ao aumento na remobilização de reservas do caule para os grãos (XING et al., 2009). Em relação à melhoria na qualidade de panificação esta ocorre devido ao aumento no conteúdo de proteína no grão de trigo (GARRIDO-LESTACHE et al., 2005; DUPONT et al., 2006). O maior teor protéico é observado porque o acúmulo de amido é mais afetado que o nitrogênio, sendo que há significativo aumento na síntese de gliadinas (HAJHEIDARI et al., 2007).

No entanto, o efeito da seca dependendo regime térmico, no qual em baixa temperatura o efeito da seca é maior em relação à ocorrência de seca com altas temperaturas. Quando há maior duração das fenofases da cultura decorrente de temperaturas amenas, a seca influenciará o potencial de produção durante maior período do ciclo da planta (TRIBOI; TRIBOI-BLONDEL, 2002).

Assim, devido à existência da interação entre as condições ambientais e o conteúdo protéico em grãos de trigo, admite-se que mais da metade do conteúdo protéico é determinado pelos fatores ambientais, e apenas uma pequena parte é devido à genética (TRIBOI; TRIBOI-BLONDEL, 2002).

2.4.2 Adubação Nitrogenada

O nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes quando se objetiva melhoria na produtividade das culturas. A ureia e o sulfato de amônio são os fertilizantes nitrogenados mais utilizados na agricultura brasileira. No entanto, o nitrogênio (N) é o nutriente de manejo e recomendação mais complexos, em virtude da multiplicidade de reações químicas e biológicas a que está sujeito, dependentes das condições edafoclimáticas. Normalmente, menos de 50% do nitrogênio aplicado sob a forma de fertilizante é utilizado pelas culturas, porque há perdas por lixiviação de nitrato, volatilização de amônia, emissão de N_2 e N_2O , desnitrificação e erosão (RAMBO et al., 2008).

A demanda de nitrogênio na planta está envolvida na regulação da absorção do N pelas raízes, mas o fluxo de absorção é menor que a capacidade de captação. Essa regulação das raízes pode ser explicada pela atividade proteolítica que libera aminoácidos nas folhas que, por sua vez, são translocados para os grãos. Assim, há aumento de aminoácidos no floema associado a baixa concentração de ácido orgânico, que inibe a absorção de nitrato (TRIBOI; TRIBOI-BLONDEL, 2002).

Em função disso, busca-se maior eficiência de utilização do N com o uso de fontes que propiciam menores perdas, com o parcelamento e doses da adubação nitrogenada. A época adequada de aplicação de N maximiza a resposta das plantas em relação ao rendimento de grãos, pois maximiza a assimilação do nutriente pelo trigo e diminui as perdas por lixiviação ou volatilização (SILVA et al., 2005; BASSO et al., 2010). Assim sendo, é importante ressaltar que o N é um nutriente extremamente dinâmico no sistema solo-planta. Portanto, as respostas à sua aplicação são diversificadas em consequência de variações no clima, solo, sistema de rotação adotado e da época de aplicação (MAI et al., 2003).

Mi et al. (2000), estudando a resposta de duas cultivares a níveis e épocas de adubação nitrogenada observaram que a variação na massa e no número de grãos por espiga não foi significativo com o incremento e o parcelamento de doses de N entre a semeadura e antese. Sangoi et al. (2007), observaram que ocorreu efeito significativo da época de aplicação do nitrogênio sobre o rendimento de grãos em cultivares de trigo. A maior resposta da planta à adubação nitrogenada em cobertura ocorreu antes do emborrachamento. A aplicação no emborrachamento beneficiou a massa de mil grãos, mas apresentou menor produtividade. Além disso, concluíram que aplicação precoce de N em cobertura estimula maior produção de grãos por área, devido à maior participação dos perfilhos na formação do rendimento de grãos.

O enxofre (S) é um nutriente essencial às plantas, pois participa na formação de diversas moléculas orgânicas, tais como os aminoácidos. Em trigo a necessidade de S está entre 15-20 kg ha⁻¹, sendo que a fase reprodutiva é a mais sensível à deficiência deste nutriente (McGRATH et al., 1996). No solo, este nutriente encontra-se, principalmente, armazenado na forma orgânica. A manutenção de teores adequados de matéria orgânica garante o suprimento gradual de S às plantas, por meio da mineralização. Uma das maneiras de entrada do S no solo é através da água da chuva, devido à poluição do ar (OSÓRIO FILHO et al., 2007).

Nesse sentido, na Alemanha, até os anos de 1980 a utilização de adubos sulfatados não era necessária, pois a poluição atmosférica decorrente da indústria e de automóveis era capaz de suprir as necessidades de S para a cultura do trigo. Entretanto, devido

ao controle da poluição houve redução drástica na disponibilidade de S nos solos, o que levou a deficiência desse nutriente afetando tanto o rendimento quanto a qualidade do trigo produzido (WIESER et al., 2004).

Em solos com diferentes quantidades de S há redução significativa no rendimento de grãos de trigo, sendo que diferentes doses de S testadas resultam em resposta positiva no rendimento de grãos (WIESER et al., 2004). Em cevada, Eriksen e Mortensen (2002), observaram resultados semelhantes quando a dose de N foi baixa. Entretanto, na aplicação de S e alta dose de N houve incremento no rendimento de grãos e acúmulo de massa seca na cultura do trigo. A deficiência de enxofre conduz ao aumento das doses de N para obtenção de alto rendimento em trigo. Assim, quanto maior a dose de N aplicada maior será a resposta a aplicação de enxofre (ZHAO et al., 1999). Em condições brasileiras o efeito do S no rendimento de grãos em trigo (RHEINHEIMER et al., 2005; OSÓRIO-FILHO et al., 2007) e na produção de matéria seca em trigo (RHEINHEIMER et al., 2007) não tem sido significativo.

A qualidade industrial de grãos do trigo é dependente do fator genético, fertilização do solo, clima da região, secagem e armazenagem do grão (BRUNETTA et al., 1997; LERNER, et al., 2006). Dentre esses fatores, a fertilização, principalmente, nitrogênio e enxofre, condiciona a obtenção de conteúdos acentuados de glúten e de proteína nos grãos de trigo (FALOTICO et al., 1999).

A adubação nitrogenada em cobertura incrementa a força geral do glúten, teor de proteína da farinha de trigo e reduz a relação entre a tenacidade e extensibilidade, influenciando positivamente na qualidade da farinha para panificação (CAZETTA et al., 2008). Nesse sentido, há aumento no conteúdo de proteína e força de glúten, tanto em aplicações de N na época recomendada quanto tardias. Entretanto, adubação nitrogenada tardia, promove aumento apenas da qualidade industrial, sem aumento no rendimento de grãos (GARRIDO-LESTACHE et al., 2004).

Antes da antese os efeitos de ambiente, genética e adubação nitrogenada possuem influência sobre o teor de proteínas nos grãos, enquanto que após a antese o efeito do nitrogênio é impactante no desenvolvimento dos grãos. Adubação nitrogenada após a antese aumenta o conteúdo protéico sem reduzir o rendimento, mas se ocorrer alta temperatura ou seca há redução no rendimento de grãos (BAHRMAN et al., 2004).

Entretanto, a adubação nitrogenada apresenta resultados diferentes conforme o regime térmico das condições de cultivo. Em temperaturas de 24 e 27°C diurna e noturna, respectivamente, ocorre aumento na taxa e na porcentagem de proteínas bem como a massa de

grãos. Em contraste, temperatura de 37°C (diurna) e 28°C (noturna), há redução da matéria seca e da massa do grão (DUPONT et al., 2006).

Varga e Svecnjak (2006) relataram que aplicação de N, na formulação de ureia, próximo à antese provoca redução no índice de glúten. Da mesma forma, adubação nitrogenada em excesso (acima de 300 kg ha⁻¹ de N) provoca redução na proporção de gluteninas de alto peso molecular (YUE et al., 2007). Portanto, adubação nitrogenada em excesso proporciona perda da qualidade industrial.

A adubação nitrogenada interfere na qualidade industrial, pois as gliadinas e gluteninas são afetadas pelas condições ambientais, disponibilidade de nitrogênio e enxofre. Por exemplo, o efeito da adubação nitrogenada é mais pronunciado nas gliadinas do que nas gluteninas; a proporção de ω 5-, ω 1,2- e HMW é aumentada, enquanto que γ - e LMW decrescem com alto nível de nitrogênio (WIESER; SEILMEIER, 1998). Dessa maneira, a adubação nitrogenada proporciona incremento na elasticidade da massa por apresentar maior efeito sobre as gliadinas.

A adubação sulfatada possui importância na qualidade da farinha de trigo, principalmente, por desempenhar papel essencial na manutenção das pontes de dissulfeto. As pontes de dissulfeto são formadas pela oxidação de grupos sulfidrílicos e são importantes na estabilidade da conformação da GLI e na estrutura da GLU (LI et al., 2004).

Em condições de alta fertilização nitrogenada a aplicação de enxofre é importante, pois garante a síntese de proteínas e a formação de pontes de dissulfeto que são constituintes do glúten. Portanto, quando o conteúdo de enxofre é baixo há redução da capacidade de extensibilidade, conseqüentemente, o pão produzido apresenta volume e aparência insatisfatórios (LERNER et al., 2006). A qualidade da proteína é melhorada com aplicação de S, pois em baixa disponibilidade de enxofre há limitação na síntese de GLU HMW (ZHAO et al., 1999; WIESER et al., 2004).

A quantidade de proteínas do glúten não é influenciada por diferentes doses de S, desde que a quantidade de S no grão seja superior a 0,12% (WIESER et al., 2004). Os resultados desses autores indicam que o teor de proteína bruta é pouco afetada pela adubação diferenciada de enxofre. Entretanto, há redução notável na proporção GLI/GLU em altas doses de S, indicando melhorias na qualidade da farinha produzida (WIESER, et al., 2004).

3 ARTIGO A - ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA E AMBIENTES DE CULTIVO NO DESEMPENHO PRODUTIVO DE CULTIVARES DE TRIGO

RESUMO: O objetivo do estudo foi ajustar estratégias de manejo do nitrogênio no desempenho agrônomo de cultivares de trigo em diferentes ambientes. Foram conduzidos experimentos de campo no sistema de plantio direto sobre palhada de soja durante os anos de 2011 e 2012 em Londrina e Pato Branco, totalizando quatro ambientes. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Foram testadas quatro cultivares de trigo (parcela principal) em seis formas de manejo do nitrogênio (subparcelas). As cultivares testadas foram IPR Catuara TM, BRS Gaivota, Quartzo e CD 120. Foram avaliadas as seguintes características agrônômicas: número de grãos e de espigas por unidade de área, altura de plantas, massa de mil grãos, massa do hectolitro, e produtividade de grãos. Os dados foram submetidos à Análise de Variância Conjunta e ao Teste Tukey para comparação de médias. Cultivares com elevado número de espigas e/ ou grãos por unidade de área apresentam vantagem produtiva em condições ambientais desfavoráveis. A produtividade de grãos varia, principalmente, em função do ambiente. Em ambientes com baixa precipitação pluviométrica a adubação nitrogenada em cobertura pode ser suprimida. Em condições climáticas ideais para o crescimento e desenvolvimento do trigo a produtividade de grãos das cultivares testadas é incrementada com a adubação nitrogenada em cobertura, independentemente da cultivar.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L. Componentes da produtividade de grãos. Ureia. Sulfato de amônio.

TOPDRESSING NITROGEN FERTILIZATION IN DIFFERENT ENVIRONMENTS ON PRODUCTIVITY PERFORMANCE OF WHEAT CULTIVARS

ABSTRACT: The aim of this study was to fit nitrogen management on agronomic performance of wheat cultivars in different environments. Field experiments were conducted under no-tillage system on soybean mulch during the 2011 and 2012 years in Londrina and Pato Branco, resulting in four environments. The experimental design was a randomized block split plot with four replications. Four wheat cultivars (main plots) were tested at six levels of nitrogen (subplots). The wheat cultivars evaluated were IPR Catuara TM, BRS Gaivota, Quartzo and CD 120. The following characteristics were evaluated: number of grains and number of spikes per unit area, plant height, thousand kernel weight, test weight, and grain yield. Data were subjected to analysis of variance and Tukey test for comparison of mean. Cultivars with high number of spikes and/or grains per unit area shows productive advantage in unfavorable environmental conditions. Grain yield fluctuates mainly depending on the environment. In environments conditions that rainfall is low the nitrogen topdressing can be suppressed. In ideal weather conditions for the growth and development of wheat cultivars grain yield is improved with the nitrogen topdressing regardless of cultivar.

Key words: *Triticum aestivum* L. Grain yield components. Urea. Ammonium sulfate.

3.1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos cereais de maior importância mundial com mais de 700 milhões de toneladas produzidas a cada ano (USDA, 2012). No Brasil, a produção é de aproximadamente 5,4 milhões de toneladas o que corresponde à metade do consumo brasileiro deste cereal. O estado do Paraná contribui com metade do volume de trigo produzido no país com média produtiva de 2700 kg ha⁻¹ (CONAB, 2013).

O potencial produtivo do trigo é obtido quando a cultura não tem limitações de água, de nutrientes e de clima, nem incidência de pragas e doenças. Portanto, diversos fatores podem restringir a produtividade de trigo, incluindo o manejo do nitrogênio (N). O manejo do N é de fundamental importância devido ao efeito no crescimento e no desenvolvimento das plantas, o que influencia no potencial de produção. É um dos nutrientes mais importantes quando se objetiva a melhoria na produtividade de grãos (SANGOI et al., 2007; BENIN et al., 2012a) e nos componentes do rendimento em trigo (HEINEMANN et al., 2006; TRINDADE et al., 2006; BENIN et al., 2012a).

Contudo, a natureza dinâmica do N e sua propensão para perdas criam um ambiente desafiador quanto ao manejo eficiente desse nutriente em cobertura (FAGERIA; BALIGAR, 2005), principalmente, devido às várias reações e à instabilidade no solo. A baixa eficiência do N se dá pelas perdas por volatilização de amônia (VAN der GON; BLEEKER, 2005), lixiviação, escoamento superficial e desnitrificação (FAGERIA; BALIGAR, 2005). Portanto, melhorar a eficiência de utilização do N pelas plantas é decisivo na melhoria da produtividade, na redução de custos de produção e na qualidade ambiental (FAGERIA; BALIGAR, 2005).

Fontes nitrogenadas amídicas (uréia) têm maior perda por volatilização, quando aplicada em solos de baixa CTC, pH básico, baixa umidade e elevada temperatura. O fluxo de volatilização da amônia tem início logo após a aplicação da uréia pela rápida hidrólise no solo (COSTA et al., 2003). Por outro lado, o sulfato de amônio e nitrato de amônio não resultam em perdas por volatilização, mesmo que aplicados em superfície. Além disso, a exigência energética da assimilação do amônio é menor do que para a assimilação do nitrato, em razão do primeiro não precisar ser reduzido para sua incorporação em aminoácidos (MAGALHÃES et al., 1993). Ainda assim, a ureia é uma das fontes de N mais utilizadas na agricultura brasileira, por apresentar elevada concentração de N e por baixo custo por unidade de nitrogênio.

Uma prática de manejo importante para suprir a planta nos períodos críticos é o parcelamento da adubação nitrogenada bem como a definição da quantidade adequada de

N a ser aplicada. A época correta de aplicação do nutriente diminui as perdas e aumenta a eficiência do nutriente, o que proporciona maior resposta da planta na produtividade de grãos e nos componentes do rendimento (MI et al., 2000; SANGOI et al., 2007; BASSO et al., 2010).

Entretanto, há discordâncias quanto à melhor época de aplicação ou o parcelamento do N em cobertura na cultura do trigo. Há evidências de que a massa de mil grãos não varia com o incremento e o parcelamento das doses de N (Mi et al., 2000). Por outro lado, Sangoi et al. (2007) observaram que a massa de grãos varia com o incremento e o parcelamento de doses de N em trigo; além disso, maiores produtividades foram obtidas com a aplicação do N antes do emborrachamento das cultivares de trigo. Em condições de trigo irrigado, Teixeira Filho et al. (2010) concluíram que a produtividade de grãos em função da adubação nitrogenada independe se o N foi aplicado na semeadura ou na fase de emborrachamento.

O aproveitamento do N também é variável conforme a origem das cultivares e a cada ano são disponibilizadas novas cultivares que divergem entre si em relação à resposta ao N aplicado em cobertura. Além disso, a resposta produtiva ao N varia em função do ambiente de cultivo para cada cultivar (BENIN, et al., 2012a). Logo, é inviável tecnicamente generalizar indicações de manejo da adubação nitrogenada para as cultivares de trigo (TEIXEIRA FILHO et al., 2010).

Portanto, o estudo integrado do manejo da adubação nitrogenada em trigo deve contemplar a distinção entre ambientes, fontes de nitrogênio, época de aplicação e, principalmente, o fator genético. O objetivo do estudo foi ajustar estratégias de manejo do nitrogênio no desempenho agrônômico de cultivares de trigo em ambientes contrastantes quanto às condições climáticas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local e Delineamento Experimental

Os experimentos foram conduzidos a campo, durante os anos agrícolas de 2011 e 2012 em duas regiões tritícolas do Estado do Paraná: i) Londrina (23°22'09" S de latitude, 51°10'13" W de longitude e 549 metros de altitude); ii) Pato Branco (26°09'58" S de latitude, 52°42'22" W de longitude e 749 metros de altitude), totalizando quatro ambientes. Ambas as localidades possuem clima predominante do tipo Cfa e solo classificado como

Latossolo vermelho distroférico (SANTOS et al., 2006). A localidade de Londrina está na região de VCU 3 (quente moderadamente seca e baixa), enquanto que Pato Branco está localizada na região de VCU 2 (moderadamente quente, úmida e baixa).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Foram testadas quatro cultivares de trigo (parcela principal) em seis formas de manejo do nitrogênio (subparcelas).

3.2.2 Implantação dos Experimentos e Tratamentos

A semeadura foi realizada de forma mecanizada, no sistema de plantio direto sobre palhada de soja em ambas as localidades, nos dias 16/04/2011 e 20/04/2012 em Londrina e nos dias 20/06/2011 e 26/06/2012 em Pato Branco. Cada unidade experimental (subparcela) foi composta por seis linhas espaçadas 0,17m com seis metros de comprimento e área útil de 5,1m²; a distância entre cada subparcela foi de um metro. As sementes foram tratadas com Imidacloprido (Gaucho FS) na dose de 70 mL (p.c.) para cada 100 kg de sementes. Em Londrina, a adubação de base foi de 300 kg ha⁻¹ da formulação 10-30-10, enquanto que em Pato Branco foi de 350 kg ha⁻¹ da formulação 08-20-20. A densidade de plantas foi de 330 pl m⁻² em todas as condições ambientais.

As cultivares testadas foram IPR Catuara TM, BRS Gaivota, Quartzo e CD 120 cujas genealogias e características agrônomicas e tecnológicas são descritas na tabela 1.1. Os ambientes foram codificados em: ambiente A1 (Londrina, 2011), ambiente A2 (Londrina, 2012), ambiente A3 (Pato Branco, 2011) e ambiente A4 (Pato Branco 2012).

As formas de manejo do nitrogênio foram constituídas por: N1 – sem nitrogênio em cobertura; N2 – 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio na formulação de ureia aplicado no início do perfilhamento; N3 - 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio na formulação de ureia, sendo aplicados 60 kg ha⁻¹ e 20 kg ha⁻¹ no início do perfilhamento e emborrachamento, respectivamente; N4 - 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio na formulação de ureia, sendo aplicados 60 kg ha⁻¹ e 40 kg ha⁻¹ no início do perfilhamento e emborrachamento, respectivamente; N5 - 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio, sendo aplicados 60 kg ha⁻¹ de N na formulação de ureia no início do perfilhamento, e 20 kg ha⁻¹ de N na formulação de sulfato de amônio no emborrachamento; N6 - 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio, sendo aplicados 60 kg ha⁻¹ de N na formulação de ureia no início do perfilhamento, e 40 kg ha⁻¹ de N na formulação de sulfato de amônio no emborrachamento. A adubação de cobertura foi realizada em datas específicas para cada cultivar de acordo com o ciclo das mesmas.

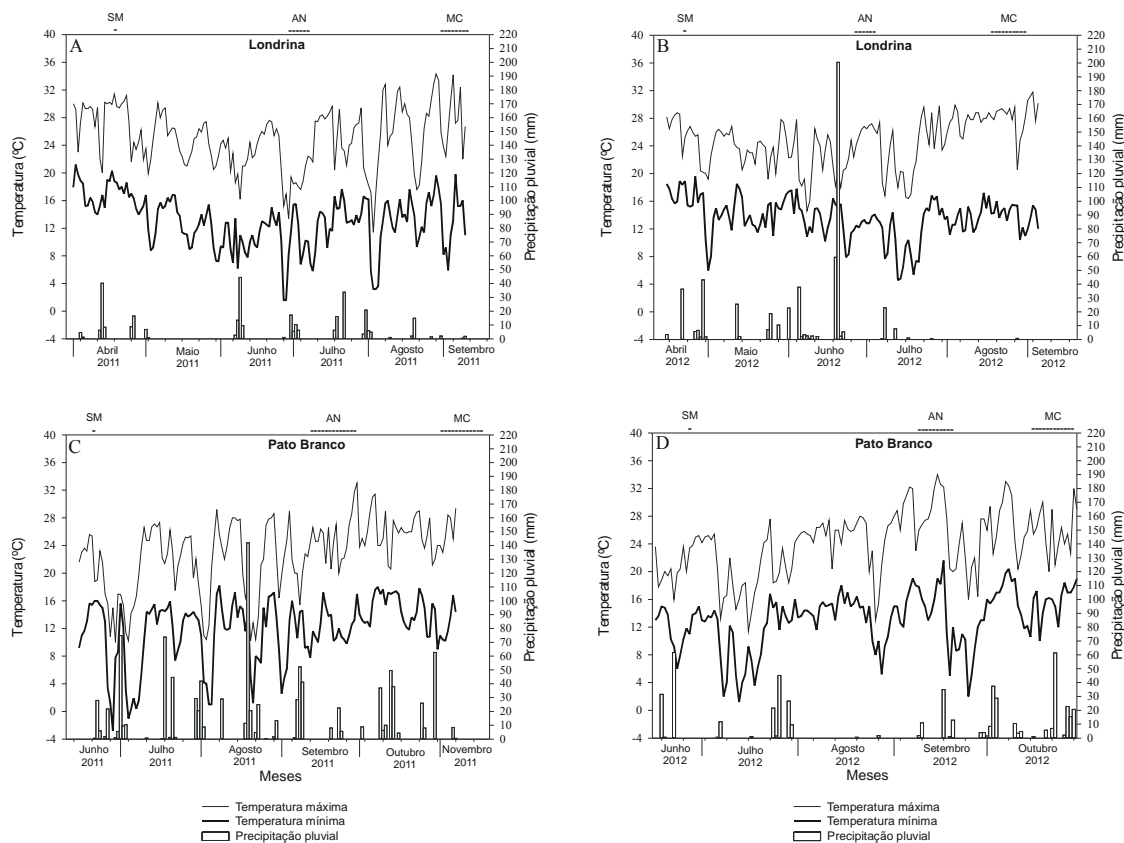
Tabela 1.1 – Genealogia, características agronômicas e tecnológicas das cultivares testadas.

Cultivares	Genealogia	Ciclo	Força de glúten (10^{-4} J)	Classe comercial
IPR Catuara TM	LD 875/IPR 85	Precoce	340	Melhorador
BRS Gaivota	BR 35/Klein H 2860	Médio	290	Pão
Quartzo	Onix/Avante	Médio	270	Pão
CD 120	RUBI/CD105	Médio	111	Básico

Fonte: Reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticales, 2011.

No ambiente A1 (Londrina 2011), após a adubação nitrogenada de cobertura, o experimento foi irrigado com uma lâmina de água de, aproximadamente, 15 mm, devido à estiagem no momento da aplicação do nitrogênio em cobertura. As condições climáticas de cada ambiente estão expostas na figura 1.1 e as características químicas do solo de cada ambiente estão expostas na tabela 1.2. Os demais manejos culturais como controle de plantas daninhas, insetos e doenças foram realizados conforme recomendações técnicas para a cultura do trigo (RBCPTT, 2011).

Figura 1.1 – Precipitação pluvial, temperaturas mínima e máxima referentes ao ambiente A1 – Londrina, 2011 (A), ambiente A2 – Londrina, 2012 (B), ambiente A3 – Pato Branco, 2011 (C) e ambiente A4 – Pato Branco, 2012 (D). SM – semeadura, NA – antese, MC – maturação de colheita.



Fonte: IAPAR.

3.2.3 Avaliações Agronômicas e Estatística

Foram realizadas as seguintes avaliações: a) altura de plantas (AP) em centímetros (cm), realizada a campo, na época da maturação, definida como a distância do nível do solo ao ápice da espiga, excluindo-se as aristas, considerando-se dez plantas ao acaso na área útil de cada subparcela; b) número de espigas por unidade de área (NEA), com contagem realizada a campo, na época da maturação, definido como o número de espigas em um metro linear na linha de semeadura, tomado ao acaso na área útil da parcela, e estimado para m^2 ; c) número de grãos por área (NGA) em mil grãos por m^2 , estimado pelo produto entre $(NEA * NGE * (MMG / 1000))$; d) massa de mil grãos (MMG) em gramas (g), definida pela aferição da massa de 250 grãos em triplicata (contados eletronicamente) de cada subparcela; e) massa do hectolitro (MH) em $kg\ hl^{-1}$, correspondente à massa de grãos ocupada em um volume de 100 L, determinado em Medidor de Umidade de Grãos de bancada - G 800 (Gehaka); f) produtividade de grãos (PG), determinada, após colheita mecânica da área útil,

pela massa de grãos em cada unidade experimental estimada em kg ha^{-1} , na umidade de 13%. A colheita foi realizada de forma mecanizada na maturação, respeitando o ciclo das plantas das diferentes cultivares e subparcelas.

Tabela 1.2 – Características químicas do solo na camada de 0-20 cm, nos quatro ambientes estudados.

Características	Unidades	Ambientes			
		A1 ¹	A2	A3	A4
P	mg dm^{-3}	21,1	24,5	18,06	16,7
pH (CaCl ₂)		5,1	5,3	5,6	5,2
Al		0	0	0	0
H+Al		6,2	5,34	5,01	5,01
Ca	cmolc dm^{-3}	5,72	5,25	7,56	6,5
Mg		2,26	2,87	3,45	2,7
K		0,18	0,88	0,28	0,3
SB		8,16	9	11,29	9,5
CTC		14,36	14,34	16,3	14,51
V	%	56,82	62,76	69,26	65,47
SAI		0	0	0	0
MO		1,7	1,9	5,36	5,2

¹A1 (Londrina 2011), A2 (Londrina 2012), A3 (Pato Branco 2011) e A4 (Pato Branco 2012).

Fonte: O autor.

Foram testadas as pressuposições do modelo matemático (homogeneidade e normalidade da distribuição dos erros estimados) para a Análise de Variância, e constatado que os dados atenderam aos pressupostos. Os dados foram submetidos à Análise de Variância Conjunta. Havendo efeitos significativos procedeu-se a análise de comparação de médias pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro; além disso adotou-se valor de p igual ou inferior a 1% como significativo para as interações triplas.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os baixos valores do coeficiente de variação, indicam que as inferências realizadas são confiáveis, bem como indicam alta precisão experimental (Tabela 1.3). É importante ressaltar que na literatura o coeficiente de variação ótimo difere entre as variáveis (LÚCIO et al., 1999; BENIN et al., 2012a, b; PRANDO et al., 2012). As interações observadas na ANOVA (Tabela 1.3) já foram relatadas por Barraclough et al. (2010) e Benin

et al. (2012a). Os quadrados médios para o efeito ambiental foram os mais importantes, apresentando alta magnitude em todos os caracteres, sendo esse resultado comum quando envolve experimentos em diferentes condições ambientais (CARGNIN et al., 2006; ASFAW et al., 2009; BENIN et al., 2012a, b).

A altura de plantas (AP) foi influenciada pela interação Ambientes x Cultivares (AxC) (Tabela 1.3). Os ambientes A1 e A3 propiciaram a maior altura de plantas para todas as cultivares, contudo a AP não foi influenciada pelas cultivares nos ambientes A1 e A4 (Tabela 1.4). No ambiente A1 a cultivar Quartzo apresentou a maior AP, diferindo apenas da BRS Gaivota que apresentou a menor AP. Nos ambientes A2 e A3 a cultivar IPR Catuara TM apresentou a menor altura de plantas, possivelmente porque ocorreu atraso de uma semana na semeadura em relação aos demais ambientes. O ambiente A4 propiciou a menor altura de plantas para todas as cultivares, sendo que não se observou diferença entre cultivares no referido ambiente. Além disso, no ambiente A1 observou-se acamamento de plantas na fase de espigamento para todas as cultivares, exceto a BRS Gaivota.

O nitrogênio estimula o crescimento vegetativo e o alongamento do colmo. Nesse sentido, estudos demonstraram que aplicação de nitrogênio resultou em aumento da altura de plantas em trigo (ZAGONEL et al., 2002; ESPINDULA et al., 2010). Entretanto, assim como o observado nesse estudo (Tabela 1.3), outros autores relataram que o nitrogênio não influenciou a altura de plantas (TEIXEIRA FILHO et al., 2007; TEIXEIRA FILHO et al., 2010). A ausência do efeito do nitrogênio na altura de plantas pode ser em decorrência do parcelamento da adubação nitrogenada, principalmente, porque a segunda aplicação do adubo nitrogenado foi realizada após o início do alongamento do colmo. Teixeira Filho et al. (2007) estudando cinco doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo, relataram ausência do efeito do nitrogênio sobre a altura de plantas. Os autores atribuíram a ausência do efeito do N sobre altura de plantas devido à aplicação de N-mineral em estágio tardio da cultura, aos 40 dias após a emergência das plântulas. A ocorrência de elevadas temperaturas e irregularidade na precipitação pluvial no ambiente A4 podem ter contribuído para a significativa redução na AP das plantas. Oliveira et al. (2011), relataram que todos os caracteres avaliados, inclusive a altura de plantas, expressaram redução em seus valores médios quando o cultivo ocorreu em condições de elevadas temperaturas.

O número de espigas por área (NEA) foi influenciado pela interação Cultivares x Ambientes (CxA) e Nitrogênio x Ambientes (Nx A) (Tabela 1.3). Todas as cultivares apresentaram o maior NEA nos ambientes A1 e A3 (Tabela 1.4). O NEA foi influenciado pelo efeito de formas de manejo do nitrogênio apenas no ambiente 3; além disso

no ambiente A3 o NEA foi superior em todas as formas de manejo do nitrogênio, com exceção de N1 e N2. A cultivar IPR Catuara TM apresentou o menor NEA independentemente do ambiente de cultivo, sendo que nos ambientes A2 e A3 não diferiu da cultivar BRS Gaivota.

O efeito ambiental no NEA demonstra a importância da adequação das cultivares e nível de nitrogênio a cada ambiente. No ambiente A3, foi observado incremento no NEA devido ao parcelamento do nitrogênio no perfilhamento e no emborrachamento (N3, N4, N5 e N6). Alterações de condições de clima principalmente nas condições de luz do ambiente, promovem alterações no alongamento do colmo, internós de planta e afeta o desenvolvimento dos perfilhos que gerarão espigas. Essas alterações são consequência da percepção da planta (rota do fitocromo) de um decréscimo na taxa de luz vermelha:vermelho extremo (SAWERS et al, 2005). Portanto, no ambiente A3 não há diferença significativa entre as fontes de adubação nitrogenada em cobertura.

Tabela 1.3 – Análise de variância para a altura de plantas (AP), o número de espigas m⁻² (NEA), número de grãos m⁻² (NGA), massa de mil grãos (MMG), massa do hectolitro (MH), e produtividade de grãos (PG) de trigo em diferentes ambientes de cultivo, cultivares e manejo do N em cobertura.

F.V.	Características avaliadas					
	AP	NEA	NGA	MMG	MH	PG
Blocos						
QM (12 _{GL})	1,07E+02	1,84E+04	4,49E+07	1,13E+01	9,30E+00	6,91E+05
p valor	<0,01	<0,01	0,04	0,55	0,24	0,11
Ambientes (A) (3_{GL})						
QM (3 _{GL})	4,45E+03	1,57E+06	8,22E+09	7,70E+02	5,46E+02	2,19E+07
p valor	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cultivares (C) (3_{GL})						
QM (3 _{GL})	2,32E+02	2,48E+05	2,85E+08	1,24E+03	1,95E+02	8,90E+06
p valor	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
A*C						
QM (9 _{GL})	1,68E+02	2,92E+04	3,47E+07	1,25E+02	9,48E+01	1,02E+07
p valor	<0,01	<0,01	0,14	<0,01	<0,01	<0,01
Resíduo						
QM (36 _{GL})	2,20E+01	6,21E+03	2,12E+07	1,24E+01	6,94E+00	4,05E+05
Nitrogênio (N) (5_{GL})						
QM (5 _{GL})	4,70E+00	3,42E+04	8,93E+07	9,19E+01	1,10E+01	1,73E+06
p valor	0,56	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	<0,01
A*N						
QM (15 _{GL})	5,18E+00	5,96E+04	1,28E+08	8,19E+01	7,40E+00	9,27E+05
p valor	0,60	<0,01	<0,01	<0,01	0,12	<0,01
C*N						
QM (15 _{GL})	7,42E+00	7,78E+03	2,66E+07	1,72E+01	7,13E+00	2,37E+05
p valor	0,24	0,40	0,07	0,50	0,14	0,16
A*C*N						
QM (45 _{GL})	5,59E+00	1,08E+04	2,37E+07	2,17E+01	4,55E+00	2,51E+05
p valor	0,58	0,04	0,05	0,19	0,66	0,04
Resíduo						
QM (240 _{GL})	5,94E+00	7,39E+03	1,66E+07	1,79E+01	5,07E+00	1,73E+05
Média	85,13	582,56	18590	34,11	78,81	3950
CV 1 (%)	5,51	13,53	24,77	10,34	3,34	16,10
CV 2 (%)	2,86	14,75	21,92	12,40	2,86	10,53

Fonte: O autor.

Quando a planta tem nitrogênio em grande concentração, a relação crítica de luz vermelha: vermelho extremo (menor produção de perfilhos) (V:VE) é menor do que quando o nitrogênio está em menor concentração (ZHONG et al., 2002). A aplicação do nitrogênio até a fase de espigamento pode contribuir com o aumento do índice de área foliar que resulta em maior área fotossintética (SPARKES et al., 2006). A maior área fotossintética contribui no aumento da disponibilidade de carboidratos para sustentar a produção de perfilhos que originarão espigas e na massa de grãos (ALMEIDA et al., 2004), o que explica o efeito do manejo do N no ambiente A3. Isto reforça a necessidade da aplicação de nitrogênio nos estádios de desenvolvimento recomendados para cultura, o que potencializa a máxima exploração do potencial genético dos cultivares.

Apesar do NEA ser um importante componente da PG, há questionamentos quanto ao seu aproveitamento, porque apresenta elevada complexidade, sendo influenciado pela genética (OZTURK et al., 2006; KURAPARTHY et al., 2007; BENIN et al., 2012b), pelas condições ambientais (ELHANI et al., 2007; BENIN et al., 2012a), pela disponibilidade de nitrogênio (SPARKES et al., 2006; BENIN et al., 2012b) e pela densidade de semeadura (SPARKES et al., 2006; VALÉRIO et al., 2008). Contudo, os resultados obtidos demonstraram que o maior NEA, principalmente, em condições ambientais com longo período sem precipitação pluvial (ambiente A4) incrementou a produtividade de grãos (Tabela 1.5) como, por exemplo, para a cultivar BRS Gaivota. Por outro lado, a PG de cultivares com baixo NEA foi influenciada negativamente em condições ambientais desfavoráveis (ambiente A4) como o observado para a cultivar IPR Catuara TM.

O número de grãos por unidade de área (NGA) foi influenciado por cultivares e pela interação Nitrogênio x Ambientes (Nx A) (Tabela 1.3). O NGA mínimo observado foi para a cultivar IPR Catuara TM. Observou-se que os ambientes A1 e A3 propiciaram o maior NGA em todas as formas de manejo do nitrogênio, exceto para o N6 no qual o NGA foi superior apenas no ambiente A3. Ocorreu efeito significativo das formas de manejo do nitrogênio apenas no ambiente A3, em que o N1 apresentou o menor NGA.

Tabela 1.4 – Médias do número de espigas por unidade de área, da massa de mil grãos, da altura de plantas, da massa do hectolitro e do número de grãos por unidade de área de cultivares de trigo em diferentes ambientes e formas de manejo do nitrogênio em cobertura.

Cultivares	Altura de plantas (cm)				Massa do hectolitro (kg hl ⁻¹)				
	Ambientes				Ambientes				
	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4	
IPR Catuara TM	92 aAB	77 cB	87 bC	78 cA	81 bA	82 abA	76 cA	84 aA	
BRS Gaivotá	90 aB	84 bA	91 aB	77 cA	81 aA	80 aB	76 bA	74 cC	
Quartzo	93 aA	84 bA	95 aA	76 cA	79 bB	81 aB	75 cA	79 abB	
CD 120	92 aAB	82 cA	86 bC	77 dA	79 abB	81 aAB	75 cA	79 bB	
Número de espigas por unidade de área (espigas m ²)					Massa de mil grãos (g)				
Cultivares	Ambientes ¹				Ambientes				
	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4	
IPR Catuara TM	591 bC	392 cB	671 aB	381 cB	40,4 aA	42,3 aA	31,8 bA	43,1 aA	
BRS Gaivotá	708 aAB	436 cB	707 aAB	525 bA	32,8 aB	31,1 aC	32,0 aA	33,4 aC	
Quartzo	676 aB	545 bA	699 aAB	481 cA	32,8 bB	34,9 abB	27,9 cB	37,1 aB	
CD 120	740 aA	505 bA	748 aA	509 bA	32,8 aB	31,5 abC	28,5 bB	33,3 aC	
Número de espigas por unidade de área (espigas m ²)					Massa de mil grãos (g)				
Formas de manejo do nitrogênio ²	Ambientes				Ambientes				
	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4	
N1	716 aA	463 cA	529 bC	447 cA	34,8 aAB	35,1 aA	37,1 aA	36,8 aA	
N2	720 aA	469 cA	641 bB	484 cA	33,5 abB	34,8 aA	30,6 bB	37,0 aA	
N3	638 bA	451 cA	781 aA	521 cA	33,7 aB	34,6 aA	26,4 bCD	36,5 aA	
N4	689 aA	505 bA	750 aA	472 bA	33,6 abB	35,0 abA	31,3 bB	36,7 aA	
N5	670 aA	489 bA	732 aA	466 bA	38,3 aA	35,2 aA	29,7 bBC	36,5 aA	
N6	640 bA	438 cA	804 aA	455 cA	34,5 aAB	35,0 aA	25,3 bD	36,8 aA	
Número de grãos por unidade de área (NGA m ²)					Número de grãos por unidade de área (NGA m ²)				
Cultivares	IPR Catuara TM		BRS Gaivotá		Quartzo		CD 120		
Valores	16023 b		19655 a		19165 a		19517 a		
Número de grãos por unidade de área (NGA m ²)					Número de grãos por unidade de área (NGA m ²)				
Formas de manejo do nitrogênio	Ambientes				Ambientes				
	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4	
N1	26950 aAB		15061 bA		16179 aC		6684 bA		
N2	30314 aA		14837 cA		22069 bB		7562 dA		
N3	25893 aB		14923 bA		28400 aA		7939 cA		
N4	26898 aAB		15544 bA		27399 aA		7217 cA		
N5	27179 aAB		14390 bA		27159 aA		7266 cA		
N6	25511 bB		13919 cA		29776 aA		7088 dA		

Letras minúsculas comparam na linha e letras maiúsculas comparam na coluna. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5%. ¹A1 (Londrina 2011), A2 (Londrina 2012), A3 (Pato Branco 2011) e A4 (Pato Branco 2012). ² N1 (sem N em cobertura), N2 (60 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia no perfilhamento), N3 (60 kg de N ha⁻¹ no perfilhamento e 20 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de ureia), N4 (60 kg de N ha⁻¹ no perfilhamento e 40 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de ureia), N5 (60 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia no perfilhamento e 20 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de sulfato de amônio) e N6 (60 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia no perfilhamento e 40 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de sulfato de amônio).

Fonte: O autor.

O aumento do NGA em decorrência da aplicação de nitrogênio no ambiente A3 é consequência da maior disponibilidade de N às plantas, que pode ter sido maximizada pela boa distribuição da precipitação pluvial, que contribui positivamente no número de grãos unidade de área (FRIZZONE et al., 1996). O NGA é uma medida que integra os efeitos do perfilhamento, da sobrevivência dos perfilhos, do número de espigas, do número espiguetas por espiga, sendo que as compensações que ocorrem entre esses componentes dependem basicamente do ambiente (BENIN et al., 2012a, b).

As condições climáticas do ambiente A3, com volume de 1050 mm de chuvas bem distribuídas, foram favoráveis (Figura 1.1) na definição e formação do NGA. Portanto, a existência de condições ambientais adequadas a disponibilidade de nitrogênio durante a fase inicial de desenvolvimento da planta favoreceu o NGA. O nitrogênio absorvido na fase inicial do desenvolvimento das plantas promove o perfilhamento e a maior sobrevivência dos perfilhos, o que pode resultar em maior número de grãos por área (LONGNECKER et al., 1993). Silva et al. (2014) relataram que as baixas temperaturas na região de Pato Branco, quando comparado a Londrina, podem favorecer o quociente fototermal. O quociente fototermal é relatado como um importante fator determinante do NGA (MAGRIN et al., 1993; AHMED et al., 2010).

A massa de mil grãos (MMG) foi influenciada pelas interações Ambiente e Cultivares (AxC) e Nitrogênio e Ambientes (NxA) (Tabela 1.3). O ambiente A3 propiciou a menor MMG para todas as cultivares, exceto para a cultivar BRS Gaivota (Tabela 1.4). A cultivar IPR Catuara TM apresentou a maior MMG, diferindo das demais nos ambientes A1, A2 e A4. O efeito ambiental em cada nível de nitrogênio não alterou a massa de mil grãos. Nos ambientes A2 e A4 não foram observadas diferenças na MMG com o incremento da adubação nitrogenada em cobertura. O nível de nitrogênio N1 apresentou diferença em relação aos demais níveis apenas no ambiente A3, sendo observada a maior MMG.

A maior MMG observada para a cultivar IPR Catuara TM está relacionada à sua baixa capacidade de perfilhamento e, conseqüentemente, menor efeito compensatório do número de espigas por unidade de área, o que resulta em maior massa de grãos (SCHEEREN et al., 1995; MOTZO et al., 2004). Portanto, cultivares que apresentam baixa capacidade de perfilhamento a massa do grão é importante na determinação da produtividade de grãos (OKUYAMA, 2004). A ausência do incremento na MMG devido à utilização da adubação nitrogenada pode ser porque as plantas tenham utilizado o N para promover o perfilhamento e o crescimento foliar (JENNER et al., 1991). Além disso, essa é uma característica que

apresenta limites genéticos, o que impede elevados incrementos na massa de mil grãos em resposta ao manejo e ao ambiente de cultivo (GUARIENTI, 1996).

A massa do hectolitro (MH) foi influenciada pela interação Cultivares e Ambientes (CxA) (Tabela 1.3). O ambiente A3 propiciou a menor MH para todas as cultivares, contudo não diferiu do ambiente A4 para a cultivar BRS Gaivota. A cultivar IPR Catuara TM apresentou a maior MH nos ambientes A1, A2 e A4. No ambiente A3 não se observou diferença significativa para a MH entre cultivares. Guarienti et al. (2005) relataram que o excesso hídrico nos 20 dias que antecedem à colheita ocasiona redução da massa do hectolitro. Portanto, a menor MH no ambiente A3 pode ser atribuída às sucessivas mudanças na umidade do grão devido à sequência de chuva e período seco (Figura 1.1), que resulta em alta taxa de respiração, consumo de carboidratos e das reservas presentes nos grãos (GUARIENTI et al., 2005).

A produtividade de grãos (PG) foi influenciada pelas interações Cultivares x Ambientes (CxA) e Nitrogênio x Ambientes (NxA) (Tabela 1.3). As cultivares IPR Catuara TM e BRS Gaivota apresentaram a maior produtividade (kg ha^{-1}) no e para o ambiente A1. a produtividade da cultivar BRS Gaivota no ambiente A4 não diferiu do observado no ambiente A1. A cultivar Quartzo apresentou maior produtividade no cultivo em Londrina (ambientes A1 e A2), sendo a mais produtiva no ambiente A2 (Tabela 1.5). A cultivar CD 120 apresentou baixa produtividade no ambiente A4; no ambiente A4 não diferiu significativamente da cultivar IPR Catuara TM. Não foi constatada diferença significativa na PG da cultivar CD 120 quando cultivada nos ambientes A1, A2 e A3. A cultivar BRS Gaivota apresentou-se adaptada aos ambientes A1 e A4. Apenas as cultivares BRS Gaivota e Quartzo não apresentaram redução na produtividade de grãos quando cultivadas no ambiente A4.

O ambiente A1 proporcionou a maior produtividade de grãos em qualquer das formas de manejo do nitrogênio, exceto no nível N4. Foi observado efeito significativo da forma de manejo do N apenas no ambiente A3, no qual a forma de manejo do nitrogênio N4 incrementou a produtividade de grãos .

Tabela 1.5 – Médias da produtividade de grãos de cultivares de trigo em diferentes ambientes e formas de manejo do nitrogênio em cobertura.

Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)				
Cultivares	Ambientes ¹			
	A1	A2	A3	A4
IPR Catuara TM	5020 aA	3554 cBC	4055 bA	2520 dC
BRS Gaivota	5057 aA	3174 cC	4138 bA	4794 aA
Quartzo	4505 aB	4165 abA	3810 bA	3945 bB
CD 120	3857 aC	3960 aAB	3865 aA	2787 bC
Formas de manejo do nitrogênio ²				
	A1	A2	A3	A4
N1	4660 aA	3784 bA	3698 bC	3433 bA
N2	4611 aA	3686 bA	3767 bBC	3577 bA
N3	4495 aA	3630 bcA	3762 bBC	3349 cA
N4	4573 aA	3809 bA	4915 aA	3672 bA
N5	4670 aA	3718 cA	4142 bB	3600 cA
N6	4649 aA	3652 bA	3519 bC	3439 bA

Letras minúsculas comparam na linha e letras maiúsculas comparam na coluna. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5%. ¹A1 (Londrina 2011), A2 (Londrina 2012), A3 (Pato Branco 2011) e A4 (Pato Branco 2012). ² N1 (sem N em cobertura), N2 (60 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia no perfilhamento), N3 (60 kg de N ha⁻¹ no perfilhamento e 20 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de ureia), N4 (60 kg de N ha⁻¹ no perfilhamento e 40 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de ureia), N5 (60 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia no perfilhamento e 20 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de sulfato de amônio) e N6 (60 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia no perfilhamento e 40 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de sulfato de amônio).

Fonte: O autor.

Portanto, em média as cultivares testadas apresentaram respostas semelhantes à aplicação de nitrogênio, sendo que em três das quatro condições ambientais testadas o manejo do N não alterou ($p > 0,05$) a produtividade de grãos. Esses resultados (Tabela 1.5) corroboram o fato de que a adubação nitrogenada é dependente das condições de ambiente e do genótipo e é um nutriente de difícil manejo (FAGERIA; BALIGAR, 2005; VAN der GON; BLEEKER, 2005). Além disso, Barraclough et al. (2010) afirmaram que cultivares que apresentam elevada eficiência no uso do nitrogênio são as ideais, principalmente, porque o N é um nutriente caro e pouco aproveitado em condições inadequadas de cultivo.

Assim nos ambientes A1, A2 e A4 há evidências de que não é necessário utilizar nitrogênio em cobertura quando o cultivo for com as cultivares IPR Catuara TM no ambiente A1, Quartzo no ambiente A2 e BRS Gaivota no ambiente A4. Por outro lado no

ambiente A3, é recomendado a utilização de 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N4) parceladamente em cobertura na formulação de ureia, independentemente da cultivar. Entretanto, devido às dificuldades relacionadas à recomendação de adubação nitrogenada e na previsão climática muitas vezes é preferível realizar o manejo genético para alta produtividade em trigo (BARRACLOUGH et al., 2010).

Outro resultado importante é que em três dos quatro ambientes testados não foi observada diferença significativa para a produtividade de grãos entre as fontes de nitrogênio. Esse resultado pode estar relacionado à boa cobertura do solo com resíduos da cultura anterior. Além disso, porque quando as diferentes fontes de N foram aplicadas (emborrachamento) as entrelinhas já estavam fechadas pela cultura, o que reduz a temperatura e mantém a umidade na superfície do solo (Da ROS; AITA, 2005).

Grande parte dos ganhos de produtividade potenciais em trigo têm sido atribuído ao esforço do melhoramento genético no aumento do NGA (SLAFER; ANDRADE, 1991). Nesse estudo observou-se que cultivares, como por exemplo, a BRS Gaivota, com maior NGA apresentaram maior PG, o que indica sucesso do melhoramento genético em maximizar a produtividade de grãos em trigo. Além disso, cultivares com maior NEA apresentaram vantagem quanto à produtividade de grãos em condições ambientais desfavoráveis (ambiente A4), principalmente, no que se refere ao estresse hídrico.

3.4 CONCLUSÕES

Todos os componentes do rendimento, exceto número de grãos por unidade de área, são influenciados pela interação cultivares e ambientes. A massa de mil grãos e número de espigas por unidade de área também são influenciados pela interação entre as formas de manejo do N e ambientes. O número de grãos por unidade de área é influenciado pelo efeito isolado de cultivares e pelo efeito da interação das formas de manejo do N e ambientes. A produtividade de grãos é influenciada pela interação ambiente e cultivares e pela interação formas de manejo do N e ambientes. Em ambientes nos quais há baixa precipitação pluviométrica a adubação nitrogenada em cobertura pode ser suprimida. Em condições climáticas ideais para o crescimento e desenvolvimento do trigo a produtividade de grãos das cultivares de trigo é incrementada com a aplicação de 60 kg há⁻¹ de N no início do perfilhamento e 20 kg há⁻¹ de N no emborrachamento, na fórmula de ureia. A utilização de cultivares adequadas para cada ambiente é essencial na obtenção de elevado patamar produtivo.

4 ARTIGO B: FORMAS DE MANEJO DO NITROGÊNIO EM COBERTURA, CULTIVARES E AMBIENTES DE CULTIVO NA QUALIDADE DE GRÃOS DE TRIGO

RESUMO: Elevada produtividade de grãos e qualidade industrial são cruciais no mercado do trigo, e podem ser influenciadas pelo nitrogênio, ambiente e cultivares. O objetivo desse estudo foi avaliar a influência da adubação nitrogenada de cobertura, do ambiente e cultivares de trigo sobre características de qualidade da farinha. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas. Foram testadas quatro cultivares de trigo (IPR Catuara TM, BRS Gaivota, Quartzo e CD 120) em seis formas de manejo do nitrogênio em quatro ambientes. Foram realizadas as avaliações do teor de proteínas, teste de sedimentação com dodecil sulfato de sódio, número de queda e produtividade de grãos. Foi realizada análise de variância conjunta, e havendo efeitos significativos procedeu-se a análise de comparação de médias pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Associações entre as variáveis resposta de interesse foram analisadas utilizando a correlação de Pearson a nível de 5% de probabilidade de erro. O teor de proteínas em trigo é afetado pela interação cultivares, nitrogênio e ambientes, sendo que o efeito do nitrogênio é variável entre cultivares. Além disso, o efeito do ambiente é superior ao efeito de nitrogênio e de cultivares sobre o teor de proteínas. O incremento no teor de proteínas reduz a produtividade de grãos das cultivares testadas. O volume de sedimentação com dodecil sulfato de sódio e o número de queda em trigo são influenciados pela interação cultivar e ambiente e também pelo manejo do nitrogênio. O teor de proteínas no grão tem baixa influência sobre o volume de sedimentação com dodecil sulfato de sódio, logo o manejo do nitrogênio em cobertura apresenta pouco efeito para essa variável resposta. O número de queda não varia entre cultivares quando o ambiente é propício à germinação na espiga. A utilização de nitrogênio em cobertura influencia o número de queda em trigo.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L. Qualidade de grãos. Produtividade de grãos. Uréia. Sulfato de amônio.

MANAGEMENT OF TOPDRESSING NITROGEN, CULTIVARS AND ENVIRONMENTS IN WHEAT GRAIN QUALITY

ABSTRACT: High grain yield and industrial quality are crucial in the wheat market, and can be influenced by nitrogen, environment and cultivars. The aim of this study was to evaluate the influence of nitrogen fertilization, the environment and cultivars in protein content, sedimentation test with sodium dodecyl sulfate and falling number in wheat. The experimental design was a randomized block split plot with four replications. Four wheat cultivars (main plots) were evaluated in six levels of nitrogen (subplots). The wheat cultivars evaluated were IPR Catuara TM, BRS Gaivota, Quartzo, and CD 120. Were performed assessments of protein content, sedimentation test with sodium dodecyl sulfate, falling number and grain yield. Analysis of variance was performed, and having significant effects proceeded to the analysis of comparison of means by Tukey test at 5 % probability of error. Associations between response variables of interest were analyzed using Pearson's correlation at the 5% level of probability. The wheat protein content is affected by the interaction of cultivars, nitrogen and environments, and the effect of nitrogen varies among cultivars.

Moreover, the environmental effect is greater than the genotype and nitrogen effects over protein content. The increase in protein content reduces grain yield of the cultivars tested. The sedimentation test with sodium dodecyl sulfate and falling number in wheat are influenced by the interaction between cultivar and environment and influenced by the nitrogen. The protein content of grain has low influence on sedimentation test with sodium dodecyl sulfate, thus the nitrogen management in topdress has little effect on this response variable. The falling number does not vary among cultivars when the environment is suitable to pre-harvest sprouting. The use of nitrogen influences the falling number in wheat.

Keywords: *Triticum aestivum* L. Grain quality. Grain yield. Urea. Ammonium sulfate.

4.1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos alimentos mais consumidos em todo o mundo, havendo diversidade nas preferências dos consumidores, o que implica na necessidade da produção de trigo com características adequadas de qualidade para o processamento (BRUM; MÜLLER, 2008). Além disso, ressaltaram que visando maior eficiência no processamento a indústria espera receber matérias primas homogêneas para cada tipo de alimento.

O conceito de qualidade está intimamente relacionado com o destino industrial da farinha produzida, sendo que a qualidade não pode ser avaliada a partir de apenas uma propriedade. São diversas os parâmetros que denotam a qualidade tecnológica em trigo, como por exemplo, teor de proteína, número de queda, teste de sedimentação com dodecil sulfato de sódio (SSDS), alveografia e farinografia. Contudo, esses parâmetros da qualidade são influenciados pela interação genótipo e ambiente e pelo manejo da cultura (CAZETTA et al., 2008; DENČIĆ et al., 2011; FREO et al., 2011; PINNOW et al., 2013), o que dificulta a obtenção da uniformidade no padrão de qualidade exigido pela indústria.

O teor de proteína nos grãos de trigo é um dos mais importantes parâmetros na análise dos atributos de qualidade em trigo (WEEGELS et al., 1996). Qualquer variação no teor de proteínas afeta significativamente a qualidade tecnológica (GUPTA et al., 1996; GARRIDO-LESTACHE et al., 2004; HRUŠKOVÁ et al., 2006). O teor de proteínas é influenciado pelas condições edafoclimáticas como a temperatura, a disponibilidade hídrica e a disponibilidade de nutrientes para as plantas (GARRIDO-LESTACHE et al., 2004).

Outro parâmetro importante de qualidade é a atividade da enzima alfa-amilase. Precipitação pluvial no período que antecede a colheita do trigo pode promover a germinação na espiga, o que implica na inviabilização do uso dos grãos pela indústria alimentícia (CARNEIRO et al., 2005), principalmente, porque pode modificar o amido e as

proteínas de reserva (EVERY et al., 2002). Elevada germinação na espiga pode provocar redução da massa do hectolitro, da massa de mil grãos e da produtividade de grãos (GUARIENTI et al., 2003).

A temperatura também apresenta influência nos parâmetros de qualidade. Elevadas temperaturas no período de enchimento de grãos incrementam o teor de proteínas, contudo diminui a funcionalidade das mesmas (STONE; NICOLAS, 1995; TRIBOI; TRIBOI-BLONDEL, 2002; GOODING et al., 2003; LABUSCHAGNE et al., 2009). Tais efeitos refletem em alterações na força de glúten (BLUMENTHAL et al., 1995) e também no teste de sedimentação com SSDS (TAHIR et al., 2006). Da mesma maneira, a temperatura mínima é fator que influencia na determinação do rendimento de farinha, no número de queda, na força de glúten e no teste de sedimentação com SSDS (GUARIENTI et al., 2004).

Além dos fatores de ambiente, o estado nutricional das plantas, em especial o nitrogênio, também afeta a qualidade industrial do trigo. A maior disponibilidade de nitrogênio geralmente implica em maior teor de proteínas em grãos de trigo (BOEHM et al., 2004), a qual está relacionada à melhoria na avaliação de alveografia (BUSHUK, 1998). A quantidade de nitrogênio que é aplicada é importante na qualidade industrial (LERNER et al., 2006). Contudo, o incremento no teor de proteínas e força de glúten pode ser maior quando a adubação nitrogenada é realizada em fases específicas adotando-se o parcelamento das doses de N no desenvolvimento da planta de trigo (FUERTES-MENDIZÁBAL et al., 2010).

Apesar disso, nas condições brasileiras a adubação nitrogenada tardia em trigo é frequentemente criticada, porque a proteína acumulada pode não ser funcional, o que implica em ganhos insignificantes quanto à força de glúten. Além disso, a qualidade industrial de trigo para genótipos brasileiros não é usualmente aferida pelo teor de proteínas nos grãos (VÁZQUEZ et al., 2012). O objetivo desse estudo foi de avaliar a influência da adubação nitrogenada, do ambiente e cultivares no teor de proteínas, volume de sedimentação com dodecil sulfato de sódio e no número de queda em trigo.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Local e Delineamento Experimental

Os experimentos foram conduzidos a campo, durante os anos agrícolas de 2011 e 2012 em duas regiões tritícolas do Estado do Paraná: i) Londrina (23°22'09" S de latitude, 51°10'13" W de longitude e 549 metros de altitude) e; ii) Pato Branco (26°09'58" S

de latitude, 52°42'22" W de longitude e 749 metros de altitude). Ambas as localidades possuem clima predominante do tipo Cfa e solo classificado como Latossolo vermelho distroférico (SANTOS et al., 2006). A localidade de Londrina está na região de VCU 3 (quente moderadamente seca e baixa), enquanto Pato Branco está localizada na região de VCU 2 (moderadamente quente, úmida e baixa). As características químicas do solo de cada experimento estão expostas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Características químicas de solo na camada de 0-20 cm, nos quatro ambientes estudados.

Características	Unidade	Ambientes			
		A1	A2	A3	A4
P	mg dm ⁻³	21,1	24,5	18,06	16,7
pH (CaCl ₂)		5,1	5,3	5,6	5,2
Al		0	0	0	0
H+Al		6,2	5,34	5,01	5,01
Ca	cmolc dm ⁻³	5,72	5,25	7,56	6,5
Mg		2,26	2,87	3,45	2,7
K		0,18	0,88	0,28	0,3
SB		8,16	9	11,29	9,5
CTC		14,36	14,34	16,3	14,51
V	%	56,82	62,76	69,26	65,47
Sal		0	0	0	0
MO		1,7	1,9	5,36	5,2

Fonte: O autor.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Foram testadas quatro cultivares de trigo (parcela principal) em seis formas de manejo do nitrogênio (subparcelas) em quatro ambientes (local e ano agrupados).

4.2.2 Implantação dos Experimentos e Tratamentos

A semeadura foi realizada de forma mecanizada no sistema de plantio direto sobre palhada de soja em ambas as localidades, nos dias 16/04/2011 e 20/04/2012 em Londrina e nos dias 20/06/2011 e 26/06/2012 em Pato Branco. Cada unidade experimental (subparcela) foi composta por seis linhas espaçadas 0,17m com sete metros de comprimento e área útil de 5,1m²; a distância entre cada subparcela foi de um metro. As sementes foram tratadas com Imidacloprido (Gaucho FS) na dose de 70 mL (p.c.) para cada 100 kg de sementes. Em Londrina, a adubação de base foi de 300 kg ha⁻¹ da formulação 10-30-10, enquanto que em Pato Branco foi de 350 kg ha⁻¹ da formulação 08-20-20. A densidade de plantas foi de 330 pl m⁻² em todas as condições ambientais.

As cultivares testadas foram IPR Catuara TM, BRS Gaivota, Quartzo e CD 120. Os ambientes foram codificados em: ambiente A1 (Londrina, 2011), ambiente A2 (Londrina, 2012), ambiente A3 (Pato Branco, 2011) e ambiente A4 (Pato Branco 2012). A cultivar IPR Catuara TM é pertencente à classe melhorador (W médio de 340 10⁻⁴ J), de ciclo precoce e originada de LD 875/IPR 85. A cultivar BRS Gaivota é pertencente à classe pão (W médio de 290 10⁻⁴ J), de ciclo médio e originada de BR 35/Klein H 2860 U 12100//Sonora 64/BR 23. A cultivar Quartzo é pertencente à classe pão (W médio de 270 10⁻⁴ J), de ciclo médio e originada de Onix/Avante. A cultivar CD 120 é pertencente à classe básica (W médio de 111 10⁻⁴ J), de ciclo médio e originada de RUBI/CD 105.

As formas de manejo do nitrogênio foram constituídos por: N1 – sem nitrogênio em cobertura; N2 – 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio na formulação de uréia aplicado no perfilhamento; N3 - 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio na formulação de ureia, sendo aplicados 60 kg ha⁻¹ e 20 kg ha⁻¹ no perfilhamento e emborrachamento, respectivamente; N4 - 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio na formulação de ureia, sendo aplicados 60 kg ha⁻¹ e 40 kg ha⁻¹ no perfilhamento e emborrachamento, respectivamente; N5 - 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio, sendo aplicados 60 kg ha⁻¹ de N na formulação de ureia no perfilhamento, e 20 kg ha⁻¹ de N na formulação de sulfato de amônio no emborrachamento; N6 - 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio, sendo aplicados 60 kg ha⁻¹ de N na formulação de ureia no perfilhamento, e 40 kg ha⁻¹ de N na formulação de sulfato de amônio no emborrachamento.

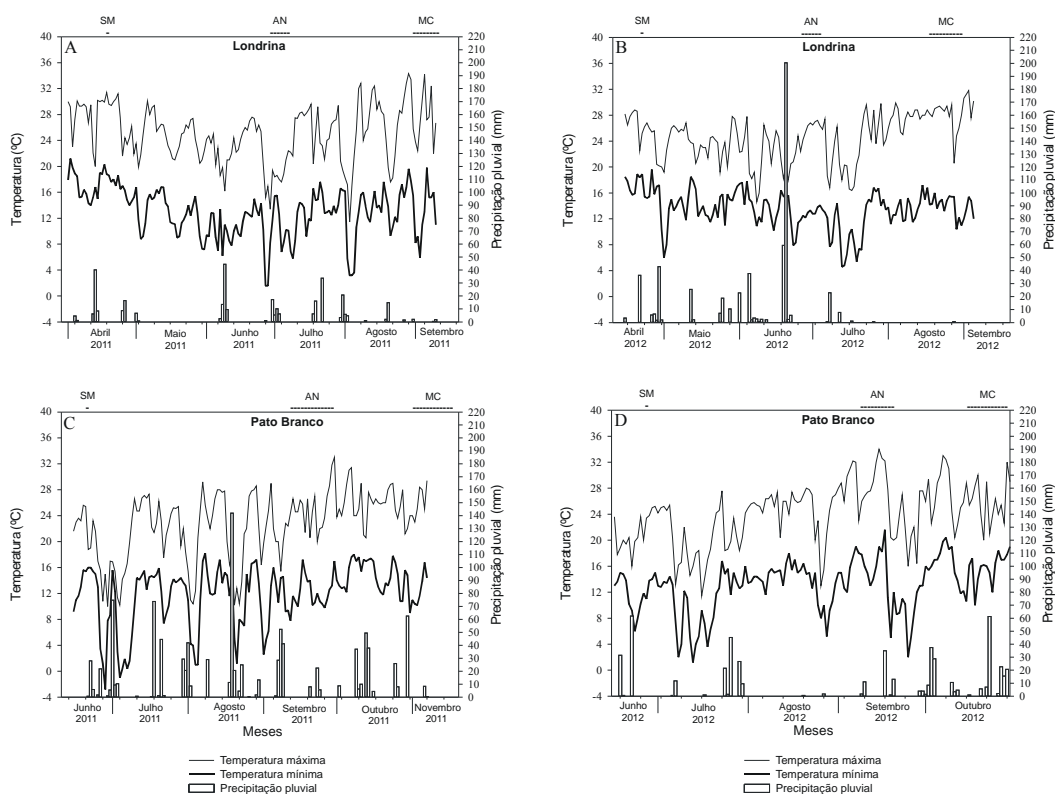
No ambiente A1 (Londrina 2011), após a adubação nitrogenada de cobertura o experimento foi irrigado com uma lâmina de água de, aproximadamente, 15 mm. Os demais manejos culturais como controle de plantas daninhas, insetos e doenças foram realizados

conforme recomendações técnicas para a cultura do trigo (RBCPTT, 2011). As condições climáticas de cada ambiente estão expostas na Figura 2.1.

4.2.3 Avaliações e Análise Estatística

Foram realizadas as seguintes avaliações: a) produtividade de grãos (PG), determinada, após colheita mecânica da área útil, pela massa de grãos em cada unidade experimental estimada em kg ha^{-1} , na umidade de 13%; b) teor de proteína (%) determinado via espectrofotometria de reflectância no infravermelho proxo (NIR). As curvas de calibração do NIR foram construídas no Laboratório de Ecofisiologia do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR); c) teste de micro-sedimentação com dodecil sulfato de sódio (mL) segundo a metodologia proposta por Dick e Quick (1983); d) número de queda, que tem por finalidade verificar a atividade da enzima alfa-amilase a fim de detectar danos causados pela germinação na espiga. Foi determinado utilizando sete gramas de farinha integral, corrigido para 14% de umidade e realizado em duplicata, sendo os resultados expressos em segundos.

Figura 2.1 – Precipitação pluvial, temperatura mínima e máxima referentes aos ambientes A1 – Londrina, 2011 (A), ambiente A2 – Londrina, 2012 (B), ambiente A3 – Pato Branco, 2011 (C) e ambiente A4 – Pato Branco, 2012 (D). SM – semeadura, NA – antese, MC – maturação de colheita.



Fonte: IAPAR.

Foi realizada análise de variância conjunta (ANOVA) para todas as avaliações realizadas. Havendo efeitos significativos procedeu-se a análise de comparação de médias pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Associações entre as variáveis resposta de interesse foram analisadas utilizando a correlação de Pearson a nível de 5% de probabilidade de erro.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2.1 apresenta a temperatura (mínima e máxima) e a precipitação mensal nos quatro ambientes de cultivo durante o cultivo de trigo. Em Londrina, observa-se que a precipitação acumulada foi de aproximadamente 320 e 540 mm nos anos de 2011 e 2012, respectivamente. Entretanto, no ano de 2012 houve precipitação de 200 mm em apenas um dia, no espigamento da cultura, seguido de período de seca até a colheita. Em Pato Branco, a precipitação acumulada foi de, aproximadamente 1050 e 515 mm nos anos 2011 e 2012, respectivamente. No ano 2012 houve um longo período de estiagem. Em ambos os anos observou-se intensa precipitação pluvial próximo à colheita, principalmente no ano 2012. Quanto à temperatura, observou-se maior variação entre os dois locais (Londrina e Pato Branco). Essa variação considerável de precipitação pluvial e temperatura entre os ambientes reflete em alterações na qualidade do trigo produzido.

Os baixos valores do coeficiente de variação indicam que as inferências realizadas são confiáveis, bem como indicam alta precisão experimental. O nitrogênio foi a principal causa de variação para os testes de SSDS e NQ, enquanto que para o teor de proteínas o efeito do ambiente foi mais pronunciado (Tabela 2.2).

O efeito ambiental influenciou o TP das cultivares IPR Catuara TM e Quartzo em todos os níveis de adubação nitrogenada; enquanto que o TP das cultivares BRS Gaivota e CD 120 não foi influenciado pelo ambiente independentemente dos níveis de N (Tabela 2.3). Em nenhum ambiente a adubação nitrogenada influenciou significativamente o TP das cultivares BRS Gaivota e Quartzo. O teor de proteínas nos grãos de trigo, principalmente de gluteninas é um dos mais importantes parâmetros na análise dos atributos de qualidade em trigo (PIROZI et al., 2008). O teor de proteínas (TP) foi influenciado pela interação Cultivares x Nitrogênio x Ambientes (CxNx A) (Tabela 2.2).

Para as cultivares IPR Catuara TM e CD 120 o efeito do manejo do N sobre o TP é variável entre cada ambiente, sendo que o TP da cultivar CD 120 não foi influenciado pelo manejo do N quando cultivada em Londrina (ambientes A1 e A2). Por outro lado, o TP

das cultivares BRS Gaivota e Quartzo não foram influenciados pelo manejo do N em qualquer dos ambientes. Para o cultivo em Londrina (ambientes A1 e A2) a cultivar BRS Gaivota apresentou o maior TP, independente do manejo do N, diferindo significativamente apenas da cultivar. Por outro lado, em Pato Branco (ambientes A3 e A4), o TP não diferiu entre cultivares em qualquer dos manejos do N. Apesar do efeito positivo do N sobre o TP, observou-se que entre as cultivares há capacidade diferenciada de acumular proteínas nos grãos, como relatado por Ercoli et al. (2011).

Os resultados observados quando à variabilidade no TP em decorrência do ambiente já foram relatados na literatura, podendo ser explicado por variações em temperatura e precipitação pluvial (RHARRABTI et al., 2003; SINGH et al., 2010; MOTZO et al., 2007). Vázquez et al. (2012) relataram que o efeito ambiental na variabilidade para o teor de proteínas foi significativamente superior ao efeito genotípico. De fato, a maior temperatura e a falta de água no enchimento de grãos no ambiente A4 propiciaram incremento no TP. Essa relação entre as variáveis climáticas e TP é bastante incerta, pois alguns resultados como os obtidos por López-Bellido et al. (2001), indicam que o excesso de chuvas durante o acúmulo de proteína no grão resulta em incremento no TP. No entanto, outros resultados indicam que o TP aumenta em condições de baixa pluviosidade (GARRIDO-LESTACHE et al., 2004).

Rao et al. (1993) argumentam que o mecanismo que regula o teor de proteínas é complexo e que o efeito da precipitação pluvial e temperatura não são consistentes em todos os locais ou anos. Apesar do aumento protéico em condições de seca, ressalta-se que nem sempre o incremento do teor de proteínas nos grãos pode resultar em qualidade de panificação superior, porque geralmente ocorre incremento na síntese de gliadinas (HAJHEIDARI et al., 2007). Essas subunidades protéicas não apresentam significativa contribuição para a força de glúten. Mesmo que nesse estudo a cultura antecessora foi a soja em todos os ambientes, convém ressaltar que a análise do TP também depende da relação C/N da palhada (PINNOW et al., 2013). Assim, em condições que limitam a disponibilidade de N, há diminuição na síntese de proteínas nos grãos e o incremento de amido.

O teor de proteínas correlacionou-se negativamente ($r=-0,90$) com a produtividade de grãos em trigo (Figura 2.2). Em estudos anteriores há relatos de relação negativa entre a produtividade de grãos e o TP (RHARRABTI et al., 2001; GUARDA et al., 2004; ŠÍP et al., 2013), de incremento concomitante do TP e a produtividade de grãos (PINNOW et al., 2013) e ausência de correlação (BORDES et al., 2008). Portanto, a correlação entre produtividade de grãos e TP é dependente de fatores como ambiente,

genotipo e práticas culturais (PINNOW et al., 2013; ŠÍP et al., 2013) não sendo possível a generalização para essa associação.

Tabela 2.2 – Análise de variância para o teor de proteínas (TP), teste de sedimentação com dodecil sulfato de sódio (SSDS) e número de queda (NQ) de quatro cultivares de trigo em seis formas de manejo do nitrogênio e quatro ambientes.

F.V.	Características avaliadas		
	TP (%)	SSDS (mL)	NQ (s)
Blocos			
QM (12 _{GL})	1,21E+00	4,34E+00	1,66E+05
p valor	0,65	0,76	<0,01
Ambientes (A)			
QM (3 _{GL})	8,37E+01	1,69E+02	1,28E+06
p valor	<0,01	<0,01	<0,01
Cultivares (C)			
QM (3 _{GL})	3,49E+01	1,75E+02	5,09E+04
p valor	<0,01	<0,01	<0,01
A*C			
QM (9 _{GL})	1,77E+01	2,05E+01	1,36E+04
p valor	<0,01	<0,01	<0,01
Resíduo			
QM (36 _{GL})	1,51E+00	6,38E+00	1,65E+03
Nitrogênio (N)			
QM (5 _{GL})	7,65E+00	9,91E+00	5,48E+03
p valor	<0,01	<0,01	<0,01
A*N			
QM (15 _{GL})	3,64E+00	1,26E+00	1,21E+03
p valor	<0,01	0,51	0,50
C*N			
QM (15 _{GL})	1,35E+00	1,95E+00	6,83E+02
p valor	0,48	0,12	0,91
A*C*N			
QM (45 _{GL})	2,19E+00	1,71E+00	1,48E+03
p valor	0,02	0,12	0,23
Resíduo			
QM (240 _{GL})	1,38E+00	1,33E+00	1,26E+03
Média	19	14,86	435
CV 1 (%)	6,47	17	9,33
CV 2 (%)	6,19	7,75	8,16

Fonte: O autor.

Tabela 2.3 – Comparação de médias para o teor de proteínas (%) de quatro cultivares de trigo sob seis formas de manejo do nitrogênio em quatro ambientes.

Nitrogênio	IPR Catuara TM				BRS Gaivota			
	A1 ¹	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
N1 ²	16,7 bB	19,2 aB	18,9 abA	19,2 aAB	18,7 aA	19,7 aA	18,9 aA	19,6 aA
N2	18,7 bcAB	20,2 abAB	17,3 cA	21,3 aA	19,6 aA	20,4 aA	18,8 aA	20,6 aA
N3	19,00 bcAB	21,3 aAB	17,5 cA	19,8 abAB	19,5 abA	20,5 aA	18,1 bA	19,9 abA
N4	19,6 bA	21,8 aA	18,5 bA	19,9 abAB	20,1 aA	20,9 aA	17,0 bA	19,7 aA
N5	19,1 abAB	20,9 aAB	17,7 bA	19,2 abAB	20,2 aA	20,7 aA	18,7 aA	19,6 aA
N6	19,6 abA	21,1 aAB	18,6 bA	17,8 bB	19,9 aA	21,4 aA	17,1 bA	20,3 aA

Nitrogênio	Quartzo				CD 120			
	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
N1	15,3 cA	16,8 bcA	18,2 abA	20,2 aA	17,1 bA	19,4 aA	17,0 bABC	19,1 abAB
N2	17,1 bA	17,5 abA	17,6 abA	19,5 aA	18,1 bA	20,3 aA	18,6 abABC	19,7 abAB
N3	17,1 bA	18,2 abA	16,9 bA	20,1 aA	19,9 abA	20,3 aA	16,7 cBC	17,8 bcB
N4	16,2 bA	18,7 aA	19,2 aA	19,2 aA	18,7 aA	20,6 aA	18,9 aAB	19,4 aAB
N5	16,7 cA	18,0 bcA	19,0 abA	20,5 aA	19 aA	20,2 aA	16,3 bC	20,9 aA
N6	16,5 bA	18,3 abA	19,0 aA	20,3 aA	18,6 aA	20,6 aA	19,1 aA	20,2 aA

Letras minúsculas comparam ambientes e letras maiúsculas comparam formas de manejo do N para uma mesma cultivar. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5%.¹A1 (Londrina 2011), A2 (Londrina 2012), A3 (Pato Branco 2011) e A4 (Pato Branco 2012).² N1 (sem N em cobertura), N2 (60 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia no perfilhamento), N3 (60 kg de N ha⁻¹ no perfilhamento e 20 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de ureia), N4 (60 kg de N ha⁻¹ no perfilhamento e 40 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de ureia), N5 (60 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia no perfilhamento e 20 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de sulfato de amônio) e N6 (60 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia no perfilhamento e 40 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de sulfato de amônio).

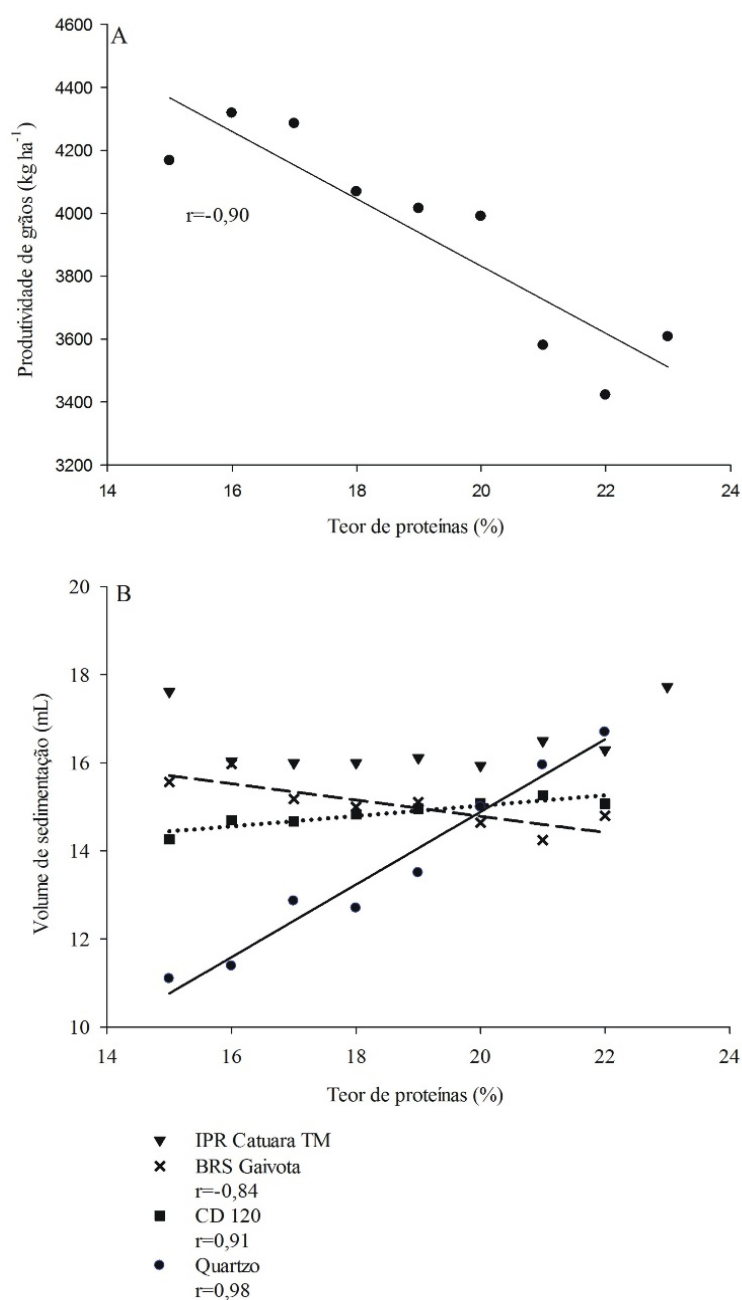
Continuação da **Tabela 2.3** – Comparação de médias para o teor de proteínas (%) de quatro cultivares de trigo sob seis formas de manejo do nitrogênio em quatro ambientes.

Nitrogênio	Ambiente A1				Ambiente A2			
	IPR Catuara TM	BRS Gaivota	Quartzo	CD 120	IPR Catuara TM	BRS Gaivota	Quartzo	CD 120
N1	16,7 ab	18,7 a	15,3 b	17,1 ab	19,2 a	19,7 a	16,8 b	19,4 a
N2	18,7 ab	19,6 a	17,1 b	18,1 ab	20,2 a	20,4 a	17,5 b	20,3 a
N3	19,00 ab	19,5 a	17,1 b	19,9 ab	21,3 a	20,5 a	18,2 b	20,3 ab
N4	19,6 a	20,1 a	16,2 b	18,7 a	21,8 a	20,9 a	18,7 b	20,6 ab
N5	19,1 a	20,2 a	16,7 b	19 a	20,9 a	20,7 a	18,0 b	20,2 a
N6	19,6 a	19,9 a	16,5 b	18,6 ab	21,1 a	21,4 a	18,3 b	20,6 a
Nitrogênio	Ambiente A3				Ambiente A4			
	IPR Catuara TM	BRS Gaivota	Quartzo	CD 120	IPR Catuara TM	BRS Gaivota	Quartzo	CD 120
N1	18,9 a	18,9 a	18,2 a	17,0 a	19,2 a	19,6 a	20,2 a	19,1 a
N2	17,3 a	18,8 a	17,6 a	18,6 a	21,3 a	20,6 a	19,5 a	19,7 a
N3	17,5 a	18,1 a	16,9 a	16,7 a	19,8 ab	19,9 ab	20,1 a	17,8 b
N4	18,5 ab	17,0 b	19,2 a	18,9 ab	19,9 a	19,7 a	19,2 a	19,4 a
N5	17,7 ab	18,7 a	19,0 a	16,3 b	19,2 a	19,6 a	20,5 a	20,9 a
N6	18,6 a	17,1 a	19,0 a	19,1 a	17,8 b	20,3 a	20,3 a	20,2 a

Letras minúsculas comparam o efeito de cultivares para um mesmo ambiente. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5%. ¹A1 (Londrina 2011), A2 (Londrina 2012), A3 (Pato Branco 2011) e A4 (Pato Branco 2012). ² N1 (sem N em cobertura), N2 (60 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia no perfilhamento), N3 (60 kg de N ha⁻¹ no perfilhamento e 20 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de ureia), N4 (60 kg de N ha⁻¹ no perfilhamento e 40 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de ureia), N5 (60 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia no perfilhamento e 20 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de sulfato de amônio) e N6 (60 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia no perfilhamento e 40 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de sulfato de amônio).

Dentre os diversos testes para avaliar a aptidão tecnológica da farinha o teste de sedimentação com dodecil sulfato de sódio é um teste confiável, de baixo custo, de rápida execução e exige pouca mão de obra, portanto sendo possível a utilização nas fases iniciais do melhoramento genético (OELOFSE et al., 2010).

Figura 2.2 – Correlação de Pearson ao nível de 5% de probabilidade de erro produtividade de grãos vs teor de proteínas (A), teor de proteínas vs volume de sedimentação com dodecil sulfato de sódio (B).



No teste de sedimentação com dodecil sulfato de sódio (SSDS) a cultivar IPR Catuara TM apresentou diferença significativa apenas entre os ambientes A1 e A3 (Tabela 2.4). O SSDS para as cultivares BRS Gaivota e CD 120 foi incrementado nos ambientes A3 e A4. Da mesma forma, o ambiente A4 propiciou o maior SSDS para a cultivar Quartzo. Nos ambientes A1, A2 e A3 o pior desempenho foi da cultivar Quartzo. Por outro lado, no ambiente A4 não foi observada diferença significativa no SSDS entre as cultivares. Em relação às formas de manejo do nitrogênio, ficou evidente que as doses de 80 e 100 kg ha⁻¹ de N (ureia ou sulfato de amônio) propiciaram incremento no SDSS, diferindo significativamente da testemunha (sem nitrogênio em cobertura).

Contudo, os tratamentos com nitrogênio em cobertura não diferiram entre si quanto ao volume de sedimentação com SDS. Ozturk e Aydin (2004) relataram que um aumento da sedimentação SSDS devido ao déficit hídrico pode ser explicado por um aumento no TP, principalmente devido às maiores taxas de acúmulo de N e menores taxas de acúmulo de carboidratos. Portanto, pode-se confundir o efeito ambiental sobre o SSDS porque mudanças no ambiente alteram o TP e, qualquer mudança no TP, invariavelmente, tem influência sobre o SSDS.

Na análise de correlação de Pearson entre SSDS e TP todas as cultivares, exceto a IPR Catuara TM, apresentaram correlação significativa (Figura 2). Resultados observados por Oelofse et al. (2010) indicam que o SSDS é influenciado pelo TP, mas a magnitude do efeito varia de acordo com o genótipo. A correlação entre o SSDS e TP da cultivar Quartzo foi alta ($r=0,98$).

O valor de SSDS reflete a qualidade da proteína (força de glúten), contudo pode ser influenciado pelo TP (OELOFSE et al., 2010; LI et al., 2013). Considerando-se que TP tende a aumentar sob estresse abiótico (LI et al., 2013), no presente estudo era esperado mudanças no valor de SSDS influenciados por mudanças no TP. De fato, observa-se incremento nos valores de SSDS quando comparam-se os ambientes. Contudo os valores de SSDS das cultivares IPR Catuara TM, BRS Gaivota e CD 120 foram menos influenciados.

Dessa maneira os aumentos observados na SSDS (IPR Catuara TM, BRS Gaivota e CD 120) não podem ser associados a alterações no TP. Portanto, as diferenças nas tendências dessas cultivares com relação ao SSDS pode ter sido influenciado, por possíveis diferenças nas proporções de proteínas do glúten acumuladas nas diferentes condições ambientais (LI et al., 2013).

Tabela 2.4 – Comparação de médias para o teste de sedimentação com dodecil sulfato de sódio e do número de queda de 4 cultivares de trigo cultivadas em quatro ambientes e média do efeito da adubação nitrogenada em cobertura.

Cultivar	Volume de sedimentação (SDS)				Nitrogênio ²	Médias
	Ambientes ¹					
	A1	A2	A3	A4	N1	
IPR Catuara TM	15,2 bA	16,5 abA	17,3 aA	16,8 abA	N2	14,2 B
BRS Gaivota	13,7 bA	13,9 bBC	15,4 abA	16,1 aA	N3	14,6 AB
Quartzo	11,0 bB	12,6 bC	12,5 bB	16,6 aA	N4	15,1 A
CD 120	13,4 bA	14,7 abAB	15,7 aA	16,4 aA	N5	15,2 A
Cultivar	Número de queda (NQ)				Nitrogênio	Médias
	Ambientes					
	A1	A2	A3	A4	N6	
IPR Catuara TM	506 bA	563 aA	509 bB	263 cA	N1	437 AB
BRS Gaivota	466 cB	499 bBC	541 aA	262 dA	N2	424 B
Quartzo	470 bB	517 aB	474 bC	276 cA	N3	432 B
CD 120	433 bC	472 aC	457 abC	257 cA	N4	429 B
					N5	450 A
					N6	440 AB

Letras minúsculas comparam na linha e letras maiúsculas comparam na coluna. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5%. ¹A1 (Londrina 2011), A2 (Londrina 2012), A3 (Pato Branco 2011) e A4 (Pato Branco 2012). ² N1 (sem N em cobertura), N2 (60 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia no perfilhamento), N3 (60 kg de N ha⁻¹ no perfilhamento e 20 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de ureia), N4 (60 kg de N ha⁻¹ no perfilhamento e 40 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de ureia), N5 (60 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia no perfilhamento e 20 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de sulfato de amônio) e N6 (60 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia no perfilhamento e 40 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento na forma de sulfato de amônio).

Os resultados para o número de queda (NQ) demonstram que independentemente da cultivar, o ambiente A4 propiciou o menor valor para essa característica (Tabela 4), sendo decorrência da presença de chuva próximo à colheita (Figura 1). A cultivar IPR Catuara TM apresentou o maior NQ para o cultivo em Londrina (ambientes A1 e A2), enquanto que no ambiente A3 a cultivar BRS Gaivota apresentou o maior NQ; no ambiente A4 o NQ não foi influenciado significativamente entre cultivares.

O NQ foi positivamente influenciado pela aplicação de sulfato de amônio no emborrachamento, diferindo dos tratamentos que receberam apenas ureia; contudo o NQ em nenhum das formas de manejo do nitrogênio diferiu da testemunha (N1). Segundo Kindred et al. (2005) o efeito do nitrogênio sobre o NQ não é frequente, contudo os autores observaram efeito significativo. Os mesmos autores argumentaram que o efeito observado do nitrogênio no NQ é uma característica que depende da interação genótipo e doses de nitrogênio. Portanto, dependendo do conjunto de genótipos é possível observar efeitos mais pronunciados do nitrogênio sobre o NQ.

4.4 CONCLUSÕES

O teor de proteínas em trigo é influenciado pela interação cultivares, nitrogênio e ambientes. O teor de proteínas das cultivares BRS Gaivota e Quartzo não é influenciado pelo manejo do nitrogênio em cobertura em qualquer dos ambientes. A cultivar CD 120 não tem o teor de proteínas influenciado pelo manejo do nitrogênio em cobertura nos ambientes A1 e A2.

O volume de sedimentação com dodecil sulfato de sódio e o número de queda em trigo são influenciados pela interação cultivar e ambiente e, também, pelo manejo do nitrogênio. O teor de proteínas no grão tem baixa influência sobre o volume de sedimentação com dodecil sulfato de sódio, logo o manejo do nitrogênio em cobertura apresenta pouco efeito para essa variável resposta.

O número de queda não é influenciado pelas cultivares quando o ambiente é propício à germinação na espiga. O manejo do nitrogênio em cobertura influencia o número de queda em trigo. O incremento no teor de proteínas está associado à menor produtividade de grãos das cultivares.

5 ARTIGO C: INFLUÊNCIA DO NITROGÊNIO, AMBIENTE E CULTIVARES NA QUALIDADE INDUSTRIAL DE TRIGO

RESUMO: O objetivo desse estudo foi verificar o efeito da adubação nitrogenada de cobertura, do ambiente em cultivares na qualidade industrial de trigo. Além disso, identificar e quantificar as correlações entre os parâmetros da qualidade industrial de trigo. Foram conduzidos experimentos em Londrina nos anos 2011 e 2012, que caracterizam dois ambientes, no delineamento de blocos ao acaso em quatro repetições. Foram avaliadas as cultivares IPR Catuara TM, BRS Gaivota, Quartzo e CD 120 em diferentes formas de manejo do nitrogênio em cobertura. Foram procedidas as avaliações da produtividade de grãos, do teor de proteínas, do volume de sedimentação com dodecil sulfato de sódio e dos parâmetros de alveografia e farinografia. O nitrogênio em cobertura não influenciou a qualidade industrial (alveografia e farinografia) das cultivares avaliadas. A interação cultivares e ambientes influenciou todos os parâmetros avaliados, exceto a estabilidade que foi influenciada pelas cultivares e ambientes isoladamente. Devido ao desbalanço das propriedades viscoelásticas da cultivar Quartzo há evidências de que não é adequada para cultivo na região de Londrina quando o objetivo de uso final da farinha é para o fabrico de pães. Concluiu-se que a adubação nitrogenada não influencia os parâmetros de qualidade industrial. A interação cultivares e ambientes influencia os parâmetros de alveografia e absorção de água da massa. A estabilidade da massa depende da cultivar e do ambiente. Na cultivar Quartzo o aumento do teor de proteínas propicia incremento na força de glúten; para todas as cultivares o incremento no teor de proteínas reduz a estabilidade da massa.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L. Força de glúten. Alveografia. Farinografia. Teor de proteínas. Manejo do nitrogênio.

INFLUENCE OF NITROGEN, ENVIRONMENT AND CULTIVARS ON WHEAT INDUSTRIAL QUALITY

ABSTRACT: The aim of this study was to investigate the effect of topdressing nitrogen fertilization, the environment and cultivars on industrial quality cultivars of wheat. Moreover, identify and quantify the correlations between of parameters of wheat industrial quality. Were carried out experiments in Londrina in 2011 and 2012 years (resulting in two environments). The experimental design was a randomized block split plot with four replications. Four wheat cultivars (main plots) were evaluated in six levels of nitrogen (subplots). The wheat cultivars evaluated were IPR Catuara TM, BRS Gaivota, Quartzo, and CD 120. Were performed assessments of grain yield, protein content, sedimentation test with sodium dodecyl sulfate, alveography and farinograph parameters. The topdressing nitrogen did not affect the wheat industrial quality (alveography and farinography). The interaction of cultivars and environments influenced all parameters except the stability that was affected by cultivars and environments alone. Due to the unbalance of viscoelastic, the Quartzo cultivar may not be suitable for cultivation in Londrina location when the purpose of final use of flour is for making bread. It was concluded that nitrogen does not influence the parameters of industrial quality. The interaction of cultivars and environments influence parameters alveography and water absorption of the dough. The dough stability depends of the cultivar and the environment. In cultivating Quartzo the increase in protein content provides an

increase in the strength of gluten; all cultivars that showed increased the protein content reduces the stability of the dough.

Keywords: *Triticum aestivum* L. Gluten strength. Farinograph. Protein content. Nitrogen management.

5.1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é considerado um dos principais cereais cultivados do mundo, e sua importância está associada à diversidade de produtos que origina, pois é amplamente utilizado na alimentação humana, animal e na indústria. Anualmente, aproximadamente, 700 milhões de toneladas de trigo são produzidas no mundo (USDA, 2012), enquanto que a produção brasileira é, em torno, de 6 milhões de toneladas. No Brasil, historicamente o Estado do Paraná fornece a maior parte do trigo produzido no país (CONAB, 2013).

Além do volume de produção do cereal, a qualidade do trigo é fator preponderante nos critérios para comercialização desse cereal. A qualidade tecnológica do trigo é essencial no mercado, contudo exige o desenvolvimento contínuo de novas cultivares que asseguram padrões de qualidade para o usuário final.

Diversos parâmetros contribuem na avaliação da qualidade do trigo incluindo: massa do hectolitro (MH), massa de mil grãos (MMG), teor de proteínas nos grãos (TP), teste de sedimentação com dodecil sulfato de sódio (SSDS), estabilidade da massa (EST), absorção de água da massa (AAM), força de glúten (W), tenacidade (P) e extensibilidade (L). O TP é um dos principais parâmetros que influenciam a qualidade tecnológica em trigo (WEEGELS et al., 1996), sendo importante fator de produção para esse cereal. Contudo, esses parâmetros de qualidade são influenciados pela interação genótipo e ambiente e pelo manejo da cultura (GARRIDO-LESTACHE et al., 2004; CAZETTA et al., 2008; DENČIĆ et al., 2011; FREO et al., 2011; PINNOW et al., 2013).

A temperatura apresenta significativo efeito sobre os parâmetros de qualidade, principalmente, sobre o TP. Quando a temperatura é superior a 16°C há alteração na massa do grão, na deposição de amido e no acúmulo de proteínas. Há menor deposição de amido sob condições de elevada temperatura porque há redução da atividade das enzimas responsáveis pela conversão de sacarose em amido (JENNER 1994; LABUSCHAGNE et al., 2009). Assim, quando o trigo é submetido a alta temperatura a massa de grãos é afetada, porque o amido é o maior constituinte do grão.

Por outro lado, há incremento no teor de proteínas em condições de temperatura elevada, o que pode resultar em aumento na força de glúten (TRIBOI; TRIBOI-BLONDEL, 2002; LABUSCHAGNE et al., 2009). Portanto, à medida que aumenta a força da massa (W) há melhoria na qualidade para panificação. Quando ocorre temperatura acima de 32°C há alteração na composição da proteína acumulada, afetando negativamente o SSDS (PETERSON et al., 1998). Quando ocorre déficit hídrico moderado durante o enchimento de grãos há melhorias na massa dos grãos, composição do amido e na qualidade de panificação do trigo colhido (HAJHEIDARI et al., 2007; XING et al., 2009).

Além dos fatores de ambiente, a qualidade do trigo pode ser influenciada pela adubação nitrogenada em cobertura, porque pode incrementar a W, TP e reduz a relação entre a tenacidade e extensibilidade (CAZETTA et al., 2008). Adubação nitrogenada após a antese aumenta o TP sem reduzir o rendimento, mas se ocorrer alta temperatura ou seca há redução no rendimento de grãos (BAHRMAN et al., 2004). Varga e Svecnjak (2006) relataram que aplicação de N, na formulação de ureia, próximo à antese provoca redução no W. Da mesma forma, adubação nitrogenada em excesso (acima de 300 kg ha⁻¹ de N) reduz a proporção de gluteninas de alto peso molecular (YUE et al., 2007).

Contudo, frequentemente observa-se uma correlação negativa entre o TP e a produtividade de grãos em trigo (Guarda et al., 2004; Šíp et al., 2013). Apesar dessa correlação negativa é possível o incremento na produtividade de grãos concomitantemente ao incremento no TP (PINNOW et al., 2013).

A utilização do farinógrafo (EST e AAM) e do alveógrafo (W, P, L e P/L) é considerada a técnica padrão para prever a qualidade tecnológica e de uso final no mercado de trigo e em programas de melhoramento genético. De maneira geral, as medidas obtidas no farinógrafo e alveógrafo são dependentes do TP. O aumento do TP é positivamente correlacionado com o volume do pão, contudo quando o TP é muito elevado pode diminuir o W.

Apesar do conhecimento dessas relações entre o TP e os parâmetros de farinografia e alveografia é importante o estudo aprofundado dessas relações em cultivares utilizadas no Brasil. Estudos dessa natureza são importantes porque há variabilidade do efeito do TP sobre os demais parâmetros de qualidade tecnológica devido, principalmente, ao efeito genotípico (FOWLER; KOVACS, 2004).

Portanto, o objetivo desse estudo é verificar o efeito da adubação nitrogenada, do ambiente e cultivares na qualidade industrial de trigo. Além disso, identificar e quantificar as correlações entre medidas diretas e indiretas da qualidade industrial de trigo.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Local e Delineamento Experimental

Os experimentos foram conduzidos a campo, durante os anos agrícolas de 2011 e 2012 em Londrina (23°22'09" S de latitude, 51°10'13" W de longitude e 549 metros de altitude). O clima predominante é do tipo Cfa e solo classificado como Latossolo vermelho distroférico (SANTOS et al., 2006). A localidade de Londrina está na região de VCU 3 (quente moderadamente seca e baixa), enquanto que Pato Branco está localizada na região de VCU 2 (moderadamente quente, úmida e baixa). As características químicas do solo de cada experimento estão expostas na Tabela 3.1.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo utilizadas duas repetições para as análises de qualidade industrial. Foram testadas quatro cultivares de trigo (parcela principal) em seis formas de manejo do nitrogênio (subparcelas) em dois ambientes (local e ano agrupados).

Tabela 3.1 –Características químicas de solo na camada de 0-20 cm, nos dois ambientes estudados.

Características	Unidade	Ambientes	
		A1	A2
P	mg dm ⁻³	21,1	24,5
pH (CaCl ₂)		5,1	5,3
Al		0	0
H+Al		6,2	5,34
Ca	cmolc dm ⁻³	5,72	5,25
Mg		2,26	2,87
K		0,18	0,88
SB		8,16	9
CTC		14,36	14,34
V	%	56,82	62,76
Sal		0	0
MO		1,7	1,9

Fonte: O autor.

5.2.2 Implantação dos Experimentos e Tratamentos

A semeadura foi realizada de forma mecanizada no sistema de plantio direto sobre palhada de soja nos dias 16/04/2011 e 20/04/2012. Cada unidade experimental (subparcela) foi composta por seis linhas espaçadas 0,17m com sete metros de comprimento e área útil de 5,1m²; a distância entre cada subparcela foi de um metro. As sementes foram tratadas com Imidacloprido (Gaucho FS) na dose de 70 mL (p.c.) para cada 100 kg de sementes. A adubação de base foi de 300 kg ha⁻¹ da formulação 10-30-10.

As cultivares testadas foram IPR Catuara TM, BRS Gaivota, Quartzo e CD 120. Os ambientes foram codificados em: ambiente A1 (Londrina, 2011) e ambiente A2 (Londrina, 2012). A cultivar IPR Catuara TM é pertencente à classe melhorador (W médio de 340), de ciclo precoce e originada de LD 875/IPR 85. A cultivar BRS Gaivota é pertencente à classe pão (W médio de 290), de ciclo médio e originada de BR 35/Klein H 2860 U 12100//Sonora 64/BR 23. A cultivar Quartzo é pertencente à classe pão (W médio de 270), de ciclo médio e originada de Onix/Avante. A cultivar CD 120 é pertencente à classe básica (W médio de 111), de ciclo médio e originada de RUBI/CD 105.

As formas de manejo do nitrogênio foram constituídas por: N1 – sem nitrogênio em cobertura; N2 – 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio na formulação de uréia aplicado no início do perfilhamento; N3 - 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio na formulação de ureia, sendo aplicados 60 kg ha⁻¹ e 20 kg ha⁻¹ no início do perfilhamento e emborrachamento, respectivamente; N4 - 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio na formulação de ureia, sendo aplicados 60 kg ha⁻¹ e 40 kg ha⁻¹ no início do perfilhamento e emborrachamento, respectivamente; N5 - 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio, sendo aplicados 60 kg ha⁻¹ de N na formulação de ureia no início do perfilhamento, e 20 kg ha⁻¹ de N na formulação de sulfato de amônio no emborrachamento; N6 - 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio, sendo aplicados 60 kg ha⁻¹ de N na formulação de ureia no início do perfilhamento, e 40 kg ha⁻¹ de N na formulação de sulfato de amônio no emborrachamento. No ambiente A1 (Londrina 2011), após a adubação nitrogenada de cobertura o experimento foi irrigado com uma lâmina de água de, aproximadamente, 15 mm. As condições climáticas de cada ambiente estão expostas na Figura 3.1.

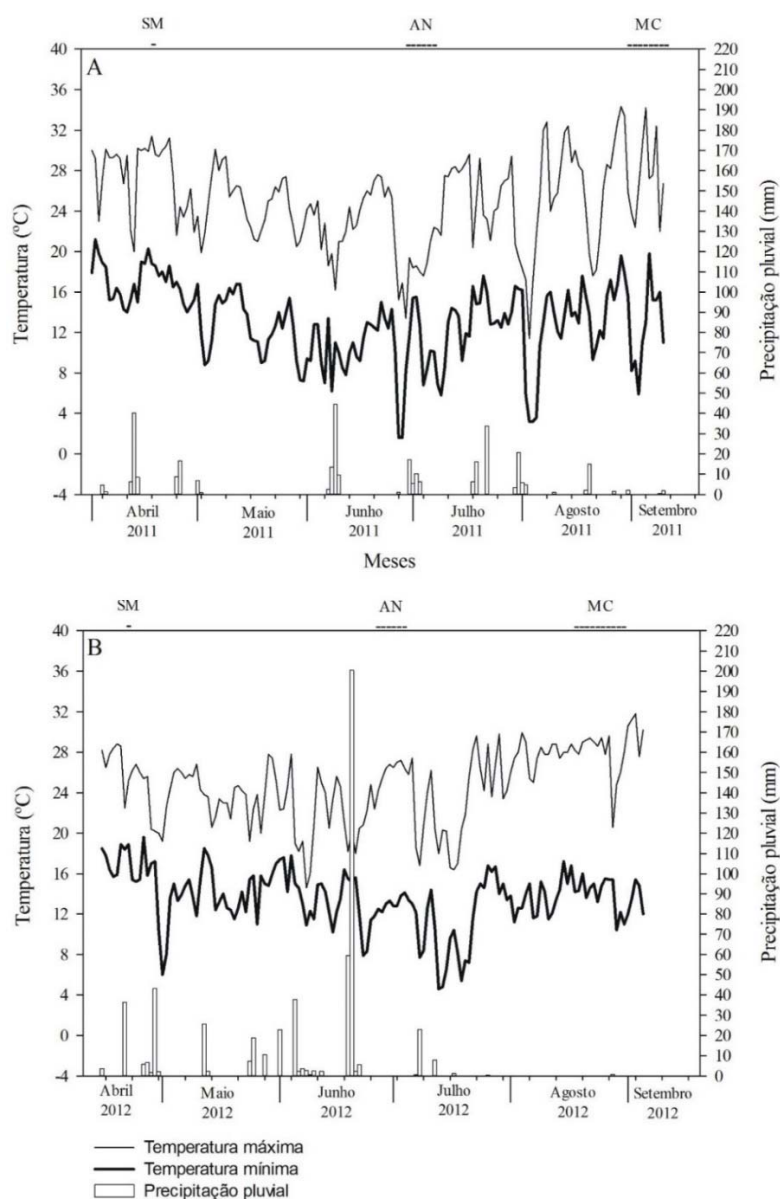
5.2.3 Avaliações e Análise Estatística

Foram realizadas as seguintes avaliações: a) produtividade de grãos, determinada, após colheita mecânica da área útil, pela massa de grãos em cada unidade

experimental estimada em kg ha^{-1} , na umidade de 13%; b) teor de proteínas (%) determinado via espectrofotometria de reflectância no infravermelho proximal (NIR), utilizando o aparelho FOSS NIRSYSTEM modelo 6500. As curvas de calibração do NIR foram construídas no Laboratório de Ecofisiologia do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) a partir do método Kjeldahl, em triplicata; c) teste de sedimentação com dodecil sulfato de sódio (mL) segundo a metodologia proposta por Dick e Quick (1983); d) As características viscoelásticas da farinha de trigo foram determinadas segundo métodos da AACC, no alveógrafo marca Chopin, modelo NG utilizando 250 gramas de farinha e volume de 129,4 mL de água, corrigido na base de 14% de umidade. Os parâmetros obtidos nos alveogramas são tenacidade (P), que mede a sobrepressão máxima exercida na expansão da massa (mm); extensibilidade (L), que mede o comprimento da curva (mm) e energia de deformação da massa (W), que corresponde ao trabalho mecânico necessário para expandir a bolha até a ruptura, expressa em 10^{-4} J. e) As características da massa durante a mistura foram determinadas segundo métodos da AACC, no Farinógrafo Brabender, modelo E, pelo uso de 50 g de farinha de trigo. Os parâmetros avaliados foram absorção de água, que indica a qualidade da farinha refletida pela capacidade de intumescimento do glúten e o teor de amido danificado e; estabilidade, definida como a diferença de tempo entre o ponto em que o topo da curva intercepta a linha média de 500 e o ponto da curva que deixa a linha. Foram utilizadas duas das quatro repetições de campo nas análises.

Foi realizada análise de variância conjunta (ANOVA) e havendo efeitos significativos procedeu-se a análise de comparação de médias pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Associações entre as variáveis resposta de interesse foram analisadas utilizando a correlação de Pearson a nível de 5% de probabilidade de erro.

Figura 3.1 –Precipitação pluvial, temperatura mínima e máxima referentes ao ambiente 1 – Londrina, 2011 (A), ambiente 2 – Londrina, 2012 (B).



5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3.1 apresenta a temperatura (mínima e máxima) e a precipitação mensal nos quatro ambientes de cultivo durante o cultivo de trigo. Em Londrina, observa-se que a precipitação acumulada foi de, aproximadamente 320 e 540 mm nos anos de 2011 e 2012, respectivamente. Entretanto, no ano de 2012 houve precipitação de 200 mm em apenas um dia, no espigamento da cultura, seguido de período de seca até a colheita.

Na análise de variância conjunta, os efeitos isolados de ambientes e cultivares foram significativos apenas para a estabilidade da massa, enquanto que as demais

características de qualidade foram influenciadas significativamente pela interação cultivares e ambientes (Tabela 3.2).

O efeito de cultivares foi reponsável pela maior parte da variância total na W, P e AAM. Apesar de significativa a C*A, observa-se que esse efeito parece ser menos importante em relação aos efeitos isolados de cultivares e ambientes; contudo a C*A é dependente em grande parte do local de realização dos experimentos (HRISTOV et al., 2010). Portanto, um maior número de ambientes, possivelmente resultaria em maior importância na variância total para o efeito da C*A.

O ambiente influenciou significativamente a W da cultivar BRS Gaivota, enquanto que as demais cultivares não foram influenciadas pelo ambiente (Tabela 3.3). No ambiente A1, a cultivar IPR Catuara TM apresentou a maior W, enquanto que as cultivares Quartzo e CD 120 apresentaram a menor W. No ambiente A2, As cultivares IPR Catuara TM e CD 120 apresentaram a maior e menor W, respectivamente.

A elasticidade (P) da cultivar IPR Catuara TM não foi influenciada pelo ambiente, enquanto que as demais cultivares foram influenciadas pelo efeito de ambiente. O ambiente A1 propiciou maiores valores de P para as cultivares que foram influenciadas pelo efeito de ambiente. Nas condições climáticas de A1 as cultivares IPR Catuara TM e Quartzo apresentaram a maior P, enquanto que em A2 apenas a cultivar IPR Catuara TM foi superior. A extensibilidade (L) das cultivares Quartzo e CD 120 foram influenciadas pelo ambiente. No ambiente A1 as cultivares Quartzo e CD 120 apresentaram os menores valores de L e no ambiente A2 a Quartzo foi a de menor L.

Tabela 3.2 –Análise de variância conjunta para alveografia e farinografia de cultivares de trigo em diferentes formas de manejo do nitrogênio e condições ambientais.

F.V.	W	P	L	P/L	AAM	EST
Blocos						
QM (2 _{GL})	3767,3	43,8	145,5	0,03	1,97	52,9
p-valor	0,27	0,81	0,65	0,78	0,36	0,40
Ambientes (A)						
QM (1 _{GL})	2229,2	5635,8	22262,1	9,36	33,38	3061,1
p-valor	0,36	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cultivares (C)						
QM (3 _{GL})	337600,9	21433,4	10087,9	7,93	647,3	459,8
p-valor	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
A*C						
QM (3 _{GL})	15767,2	968,7	2657,4	2,22	21,2	29,4
p-valor	0,02	0,05	0,02	<0,01	<0,01	0,64
Resíduo						
QM (6 _{GL})	2284,1	197,7	360,1	0,1194	1,61	49,5
Nitrogênio (N)						
QM (5 _{GL})	2099,3	143,8	749	0,39	2,67	2,7
p-valor	0,53	0,63	0,20	0,09	0,28	0,99
A*N						
QM (5 _{GL})	672	199,2	98,2	0,11	1,6	6,6
p-valor	0,90	0,49	0,91	0,51	0,49	0,98
C*N						
QM (15 _{GL})	1507	240,8	392,9	0,307	1,62	29,4
p-valor	0,76	0,43	0,49	0,12	0,54	0,64
A*C*N						
QM (15 _{GL})	1466,2	121,2	166,3	0,07	2,24	26,5
p-valor	0,77	0,79	0,89	0,81	0,36	0,85
Resíduo						
QM (41 _{GL})	1888,1	199,3	161,8	0,109	2,22	18,3
Média	328	102	99	1,2	60,6	14,9
CV 1 (%)	14,5	13,7	19	28,6	2,1	47
CV 2 (%)	13,2	13,7	12,7	27,4	2,4	28

Fonte: O autor.

Tabela 3.3 – Comparação de médias da força de glúten (10^{-4} J), elasticidade (mm), extensibilidade (mm), relação P/L e absorção de água (%) na interação cultivares e ambientes e médias de estabilidade (minutos) da massa para os efeitos de cultivares e ambientes.

Cultivares	Força de glúten (W)		Elasticidade (P)	
	Ambientes ¹		Ambientes	
	A1	A2	A1	A2
IPR Catuara TM	491 aA	484 aA	129 aA	128 aA
BRS Gaivota	372 aB	290 bB	107 aB	89 bB
Quartzo	270 aC	308 aB	136 aA	107 bB
CD 120	207 aC	208 aC	71 aC	55 bC

Cultivares	Extensibilidade (L)		P/L	
	Ambientes		Ambientes	
	A1	A2	A1	A2
IPR Catuara TM	111 aA	123 aA	1,19 aB	1,05 aAB
BRS Gaivota	101 aAB	117 aA	1,09 aB	0,77 aBC
Quartzo	51 bC	89 aB	2,77 aA	1,30 bA
CD 120	74 bBC	131 aA	1,04 aB	0,43 bC

Cultivares	Absorção (AAM)		Estabilidade (EST)
	Ambientes		
	A1	A2	
IPR Catuara TM	64 bA	66 aA	21 A
BRS Gaivota	64 aA	63 aB	11 B
Quartzo	61 aB	61 aB	14,4 AB
CD 120	52 bC	55 aC	13,8 B

Ambientes		Estabilidade (EST)
A1		20,5 A
A2		9,3 B

Letras minúsculas comparam na linha e letras maiúsculas comparam na coluna. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5%. ¹A1 (Londrina 2011), A2 (Londrina 2012).

A temperatura, em particular, é responsável por diversas mudanças fisiológicas no acúmulo de reservas no grão de trigo (GIBSON; PAULSEN, 1999; GAJU et al., 2009), que interagem de maneira complexa, e modificam a qualidade tecnológica (MULLARKEY; JONES, 2000; TRIBOI; TRIBOI-BLONDEL, 2002). A temperatura ótima do período da antese até a maturação fisiológica para a obtenção de elevado peso de grãos deve

ser em torno de 16°C. Ao contrário do amido, o teor de proteínas aumenta quando ocorre temperatura elevada (TRIBOI; TRIBOI-BLONDEL, 2002; GOODING et al., 2003; LABUSCHAGNE et al., 2009), o que confirma os resultados obtidos, especialmente, para a cultivar BRS Gaivota.

Apesar de que nesse estudo não foi observado a ocorrência de temperaturas elevadas (acima de 32°C), convém ressaltar que quando ocorre esse evento durante o enchimento de grãos há alteração na composição da proteína acumulada, e afeta negativamente a W. Isso ocorre porque estresse por calor aumenta a relação GLI/GLU, pois o acúmulo de GLU decresce mais do que as GLI, prejudicando a qualidade da massa produzida (STONE et al., 1997). Além disso, alta temperatura diminui a síntese de gluteninas de alto peso molecular (HMW), resultando em menor W (CORBELINI et al., 1998).

De acordo com os resultados da relação entre P e L, as cultivares IPR Catuara TM e BRS Gaivota não foram influenciadas pelo ambiente. A farinha que apresentar valores de P/L abaixo de 0,60 pode ser considerada de glúten extensível, de 0,61 a 1,20 de glúten balanceado, e valores de P/L acima de 1,21 de glúten tenaz (GERMANI, 2007). A cultivar Quartzo apresentou glúten tenaz, o que significa que a farinha dessa cultivar é indicada para massas. O glúten balanceado das cultivares IPR Catuara TM e BRS Gaivota possibilitam a utilização para o fabrico de pão. Por fim, a cultivar CD 120, de maneira geral, apresentou glúten extensível e pode ser utilizada em biscoitos.

Observou-se que a W está correlacionada com o TP para as cultivares BRS Gaivota ($r = -0,99$) e Quartzo ($r = 0,99$). Além disso, a W correlacionou-se com o SSDS para as cultivares IPR Catuara TM ($r = 0,91$) e Quartzo ($r = 0,88$). Quando se avaliam materiais genéticos que apresentam TP acima de 13% é possível que o valor do SSDS não seja suficientemente alto para refletir a verdadeira qualidade de trigo muito forte (AYOUB et al., 1993). Apesar disso, foi possível observar correlação significativa entre a W e o valor de SSDS para as cultivares IPR Catuara TM e Quartzo. O SSDS apresentou correlação positiva com o TP em todas as cultivares, exceto a BRS Gaivota. Portanto, é importante que para estimar a W com maior segurança, sejam considerados os testes de SSDS e TP conjuntamente. Luo et al. (2000) afirmaram que a qualidade da farinha de trigo não pode ser avaliada por um único parâmetro de qualidade, porque diversos fatores influenciam os resultados.

Os resultados obtidos pelo teste de farinografia são os mais completos e sensíveis na avaliação da qualidade de mistura da massa de farinha de trigo. Alguns parâmetros determinados pela farinografia são absorção de água, tempo de chegada, tempo de

desenvolvimento, tempo de saída e estabilidade (GUARIENTI, 1996). Os resultados da farinografia indicaram que a absorção de água pela massa (AAM) foi influenciada pela interação entre cultivares e ambientes (Tabela 3.2).

Apenas as cultivares IPR Catuara TM e CD 120 tiveram a AAM influenciada pelo ambiente, sendo que o ambiente A2 propiciou a maior AAM (Tabela 3.3). As cultivares com maior AAM foram IPR Catuara (A1 e A2) e BRS Gaivota (A1), enquanto que a menor AAM foi observada para a cultivar CD 120. Dentre os parâmetros das curvas de farinografia o mais comum é para estimar a AAM e a estabilidade da massa. Em geral, a alta AAM, é dependente do TP na farinha, contudo alta AAM nem sempre está associada à elevada qualidade tecnológica (FOWLER; KOVACS, 2004).

A estabilidade de uma massa é reconhecida como um parâmetro indicador de maior resistência ao amassamento e melhor qualidade tecnológica. Nesse estudo identificou-se que a estabilidade (EST) foi influenciada pelo efeito de cultivares e ambientes (Tabela 3.2). As cultivares IPR Catuara TM e Quartzo apresentaram a maior EST, sendo o maior valor no ambiente A1 (Tabela 3.3). Contudo, esses resultados não indicam, necessariamente, que ambas cultivares apresentam efetivamente elevada EST, porque essa característica depende do TP (FOWLER; KOVACS, 2004). Nesse sentido, observou-se correlação negativa entre a EST e TP para todas as cultivares (Figura 3.2). Portanto, incrementar a W com o aumento do TP é desvantajoso porque reduz a EST. Fowler e Kovacs (2004), relataram modelos não lineares entre TP e EST para cultivares com TP entre 7 e 17%, enquanto que nesse estudo observou-se valores entre 15 e 23% para o TP, o que pode explicar a correlação observada (Figura 3.2).

A força de glúten (W) é utilizada para designar a capacidade de uma farinha sofrer um tratamento mecânico ao ser misturada com água. Também é associada à capacidade de absorção de água pelas proteínas formadoras de glúten, que combinadas à capacidade de retenção do gás carbônico resulta em um pão de volume aceitável. Nesse sentido, o balanço das propriedades viscoelásticas da massa é essencial na determinação de uso final.

As cultivares IPR Catuara TM e CD 120 não têm a relação P/L correlacionada com a W; enquanto que a cultivar BRS Gaivota apresentou correlação positiva ($r=0,93$), a cultivar Quartzo apresentou correlação negativa ($r=-0,92$). Portanto, esses resultados indicam que a cultivar Quartzo pode não ser adequada para cultivo na região de Londrina quando o objetivo de uso final da farinha for para o fabrico de pães, haja vista o desbalanço das propriedades viscoelásticas em baixos valores de W.

O TP apresentou correlação negativa com a produtividade de grãos apenas para as cultivares IPR Catuara TM e BRS Gaivota, enquanto que para as demais cultivares não foi observada qualquer relação entre essas duas características avaliadas (Figura 3.2). Além disso, a produtividade de grãos correlacionou-se positivamente ($r=0,80$) com a W para a cultivar BRS Gaivota, enquanto que essa relação não foi observada para as demais cultivares. Em estudos anteriores há relatos de relação negativa entre a produtividade de grãos e o TP (RHARRABTI et al., 2001; GUARDA et al., 2004; ŠÍP et al., 2013), de incremento concomitante do TP e a produtividade de grãos (PINNOW et al., 2013) e ausência de correlação (BORDES et al., 2008). Portanto, a correlação entre produtividade de grãos e TP é dependente de fatores como ambiente, genotipo e práticas culturais (PINNOW et al., 2013; ŠÍP et al., 2013) não sendo possível a generalização para a correlação entre TP e produtividade de grãos.

5.4 CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que a adubação nitrogenada de cobertura não influencia os parâmetros de qualidade industrial. A estabilidade da massa é influenciada pelos efeitos isolados de cultivar e ambiente. A interação cultivares e ambientes influencia os parâmetros de alveografia e absorção de água da massa. O teor de proteínas está correlacionado com a força de glúten, com o volume de sedimentação, com a estabilidade da massa e com a produtividade de grãos, dependendo da cultivar. Quanto maior o teor protéico menor a estabilidade da massa, independentemente da cultivar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há necessidade de pequenos ajustes no cultivo de trigo em cada região; ajustes que correspondem à utilização adequada de cultivares adaptadas, adubação nitrogenada de cobertura apenas quando as condições climáticas, principalmente a precipitação pluvial, forem adequadas ao melhor aproveitamento do nitrogênio aplicado.

A qualidade tecnológica de trigo é de elevada complexidade, porque depende do ambiente, genótipo, fertilidade do solo, sendo importante focar no sistema produtivo de maneira integrada; portanto, apenas uma técnica de manejo, como adubação nitrogenada de cobertura, não é suficiente para obter melhoria na qualidade industrial das cultivares de trigo.

Importante é, também, o desenvolvimento de materiais genéticos que apresentem estabilidade produtiva e de aspectos de qualidade industrial entre diferentes ambientes e safras de trigo, para usos específicos.

REFERÊNCIAS

- AHMED, M.; HASSAN, F.U.; ASSIM, M.; ASLAM, M.A.; AKRAM, M.N. Correlation of photothermal quotient with spring wheat yield. **African Journal of Biotechnology**, v.9, n. 46, p. 7852-7869, 2010.
- ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L.; MEROTTO JR., A.; ALVES, A. C.; NAVA, I. C.; KNOPP, A. C. Tiller emission and dry mass accumulation of wheat cultivars under stress. **Scientia Agricola**, v. 61, n.3, p. 266-270, 2004.
- ASFAW, A.; ALEMAYEHU, F.; GURUM, F.; ATNAF, M. AMMI and SREG GGE biplot analysis for matching varieties onto soybean production environments in Ethiopia. **Scientific Research and Essay**, v.4, n.11, p.1322-1330, 2009.
- AYOUB, M.; GREGEAU-REID, J.; SMITH, D.L. Evaluation of the SDS-sedimentation test for the assessment of eastern Canadian bread wheat quality. *Canadian Journal of Plant Science*, v. 73, n.4, p.995-999, 1993.
- BAHRMAN, N.; GOUIS, J. Le; NEGRONI, L.; AMIHAT, L.; LEROY, P.; LAINÉ, A.L.; JAMINON, O. Differential protein expression assessed by two-dimensional gel electrophoresis for two wheat varieties grown at four nitrogen levels. **Proteomics**, v.4, n.3, p.709-719, 2004.
- BARNARD, A.; SMITH, M.F. Determination of the influence of climate on falling number of winter wheat in the dryland production areas of the Free State Province of South Africa. **Euphytica**, v.188, n.1, p.15-24, 2012.
- BARNEIX, A.J. Physiology and biochemistry of source-regulated protein accumulation in the wheat grain. **Journal of Plant Physiology**, v.164, n.5, p.481-590, 2007.
- BARRACLOUGH, P. B.; HOWARTH, J. R.; JONES, J.; LOPEZ-BELLIDO, R.; PARMAR, S.; SHEPHERD, C. E.; HAWKESFORD, M. J. Nitrogen efficiency of wheat: genotypic and environmental variation and prospects for improvement. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 1, 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, n.2, p.132-138, 2010.
- BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; BECHE, E.; PAGLIOSA, E.S.; SILVA, C.L. da; PINNOW, C. Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.34, n.3, p.275-283, 2012a.
- BENIN, G.; PINNOW, C.; SILVA, C.L.da; PAGLIOSA, E.S.; BECHE, E.; BORNHOFEN, E.; MUNARO, L.B.; SILVA, R.R. Análises biplot na avaliação de cultivares de trigo em diferentes níveis de manejo. **Bragantia**, v.71, n.1, p.28-36, 2012b.
- BLUMENTHAL, C.; BÉKÉS, F.; GRAS, P.W.; BARLOW, E.W.R.; WRIGLEY, C.W. Identification of wheat genotypes tolerant to the effects of heat stress on grain quality. **Cereal Chemistry**, v.72, n.6, p.539-544, 1995.

BOEHM, D.J.; BERZONSKY, W.A.; BHATTACHARYA, M. Influence of nitrogen fertilizer treatments on spring wheat (*Triticum aestivum* L.) flour characteristics and effect on fresh and frozen dough quality. **Cereal Chemistry**, v.81, n.1, p.51-54, 2004.

BORDES, J.; BRANLARD, G.; OURY, F.X.; CHARMET, G.; BALFOURIER, F. Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheat in a worldwide core collection. **Journal of Cereal Science**, v.48, n.3, p.569-579, 2008.

BRUM, A.L.; MÜLLER, P.K. A realidade da cadeia do trigo no Brasil: o elo produtores/cooperativas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.46, n.1, p.145-169, 2008.

BRUNETTA, D. et al. Cultivares de trigo no Paraná: rendimento, características agrônômicas e qualidade industrial. Londrina: EMBRAPA - CNPSo, 1997. 48p. (EMBRAPA-CNPSo. Circular Técnica, 18).

CARAMORI, P.H. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p. 486-494, 2001.

CARGNIN, A.; SOUZA, M.A. de; CARNEIRO, P.C.S.; SOFIATTI, V. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.6, p.987-993, 2006.

CARNEIRO, L.M.T.A.; BIAGI, J.D.; FREITAS, J.G. de; CARNEIRO, M.C.; FELÍCIO, J.C. Diferentes épocas de colheita, secagem e armazenamento na qualidade de grãos de trigo comum e duro. **Bragantia**, v.64, n.1, p.127-131, 2005.

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**, Campinas, v. 67, n.3, p. 741-750, 2008.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2013). **Acompanhamento da safra brasileira**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em Novembro/2013. 71p.

CORBELINI, M.; MAZZA, L.; CIAFFI, M.; LAFIANDRA, D.; BORGHI, G. Effect of heat shock during grain filling on protein composition and technological quality of wheats. **Euphytica**, v.100, n.2, p.147-154, 1998.

CUNHA, G.R.; PIRES, J.L.F.; PASINATO, A.; DALMAGO, G.A. Variabilidade temporal e espacial do quociente fototermal no Rio Grande do Sul e suas implicações para a expressão do potencial de rendimento de grãos de trigo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, n.1, p.91-101, 2005.

Da ROS, C.O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Volatilização de amônia com aplicação e ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.35, n.4, p.799-905, 2005.

De VILLIERS, O.T.; LAUBSER, F.W. Use of the SDS test to predict the protein content and bread volume of wheat cultivars. **South African Journal of Plant and Soil**, v.12, n.4, p.140-142, 1995.

DENČIĆ, S.; MLADENOV, N.; KOBILJSKI, B. Effects of genotype and environment on breadmaking quality in wheat. **International Journal of Plant Production**, v.5, n.1, p.71-82, 2011.

DICK, J.W.; QUICK, J.S. A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early generation durum wheat breeding lines. **Cereal Chemistry**, v.60, n.4, p.315-318, 1983.

DUPONT, F.M.; HURKMAN, W.J.; VENSEL, W.H.; TANAKA, C.; KOTHARI, K.M.; CHUNG, O.K.; ALTENBACH, S.B. Protein accumulation and composition in wheat grains: Effects of mineral nutrients and high temperature. **European Journal Agronomy**, v.25, n.1, p.96-107, 2006.

ELHANI, S.; MARTOS, V.; RHARRABTI, Y.; ROYO, C.; DEL MORAL, L. F. G. Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) grain yield and its components grown in Mediterranean environments. **Field Crops Research**, v.103, n. 1, p. 25-35, 2007.

ERCOLI, L.; LULLI, L.; ARDUINI, I.; MARIOTTI, M.; MASONI, A. Durum wheat grain yield and quality as affected by S rate under Mediterranean conditions. **European Journal of Agronomy**, v.35, n.1, p. 63-70, 2011.

ERIKSEN, J.; MORTENSEN, J.V. Effects of timing of sulphur application on yield, S-uptake and quality of barley. **Plant and Soil**, v.242, n.2, p.283-289, 2002.

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; SOUZA, M. A. de; GROSSI, J. A. S.; SOUZA, L. T. de. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. **Ciência e agrotecnologia**, v.34, n.6, p.1404-1411, 2010.

EVERY, D.; SIMMONS, L.; AL-HAKKAK, J.; HAWKINS, S.; ROSS, M. Amylase, falling number, polysaccharide, protein and ash relationships in wheat millstreams. **Euphytica**, v.126, n.1, p.135-142, 2002.

FAGERIA, N.K., BALIGAR, V.C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, In Donald L. Sparks, Editor(s), Advances in Agronomy, Academic Press, 2005, v.88, p.97-185, ISSN 0065-2113, ISBN 9780120007868, [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88004-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88004-6).

FALOTICO, J. et al. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembradirecta y labranza convencional. **Ciencia del Suelo**, v.17, n.1, p.9-20, 1999.

FISCHER, R.A. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. **Journal of Agriculture Science**. London. v.105, n.2, p. 447-461, 1985.

FOWLER, D.B.; KOVACS, M.I.P. Influence of protein concentration on farinograph absorption, mixing requirements and mixing tolerance. **Canadian Journal of Plant Science**, v.84, n.3, p.765-772, 2004.

FRANCESCHI, L. de; BENIN, G.; GUARIENTI, E.M.; MARCHIRORO, V. S.; MARTIN, T.N. Fatores pré-colheita que afetam a qualidade tecnológica de trigo. **Ciência Rural**, v.39, n.5, p.1624-1631, 2009.

- FREO, J.D.; ROSSO, N.D.; MORAES, L.B.D. de; DIAS, A.R.G.; ELIAS, M.C.; GUTKOSKI, L.C. Physicochemical properties and silicon content in wheat flour treated with diatomaceous earth and conventionally stored. **Journal of Stored Products Research**, v.47, n.4, p.316-320, 2011.
- FRIZZONE, J.A.; MELLO JÚNIOR, A. V.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A. Efeito de diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada sobre componentes de produtividade da cultura do trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, n.6, p.425-434, 1996.
- FUERTES-MENDIZÁBAL, T.; AIZPURUA, A.; GONZÁLEZ-MORO, M.B.; ESTAVILLO, J.M. Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. **European Journal Agronomy**, v.33, n.1, p.52-61, 2010.
- GAJU, O.; REYNOLDS, M.P.; SPARKES, D.L.; FOULKES, M.J. Relationships between large-spike phenotype, grain number, and yield potencial in spring wheat. **Crop Science**, v.49, n.3, p.961-973, 2009.
- 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, n.2-3, p.213-236, 2004.
- GERMANI, Rogério. **Características dos grãos e farinhas de trigo e avaliações de suas qualidades**. EMBRAPA – Agroindustria de alimentos. Rio de Janeiro – 2007.
- GIBSON, L.R. e PAULSEN, G.M. Yield components of wheat grown under high temperature stress during reproductive growth. **Crop Science**, v.39, n.6, p.1841-1846, 1999.
- GILMORE, E.C. Jr.; ROGERS, J.S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, v.50, n.10, p.611-615, 1958.
- GOODING, M.J.; ELLIST, R.H.; SHEWRY, P.R.; SCHAFIELD, J.D. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. **Journal of Cereal Science**, v.37, n.3, p.295-309, 2003.
- GRÖGER, S.; OBERFORSTER, M.; WERTENKER, M.; GRAUSGRUBER, H.; LELLEY, T. HMW glutenin subunit composition and bread making quality of Australian grown wheats. **Cereal Research Communications**, v.24, n.4, p.955- 962, 1997.
- 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.; CIACCO, C.F.; CUNHA, G.R. da; DEL DUCA, L. de J.A.; CAMARGO, C.M. de O. Influência das temperaturas mínima e máxima em características de qualidade industrial e em rendimento de grãos de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24, n.4, p.505-515, 2004.
- GUARIENTI, E.M.; CIACCO, C.F.; CUNHA, G.R. da; DEL DUCA, L. de J.A.; CAMARGO, C.M. de O. Avaliação do efeito de variáveis meteorológicas na qualidade industrial e no rendimento de grãos de trigo pelo emprego de análises de componentes principais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.3, p.500-510, 2003.

- GUARIENTI, E.M.; CIACCO, C.F.; CUNHA, G.R. da; DEL LUCA, L. de J.A.; CAMARGO, C.M. de O. Efeitos da precipitação pluvial, da umidade relativa do ar e de excesso e déficit hídrico do solo no peso do hectolitro, no peso de mil grãos e no rendimento de grãos de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.3, p.412-418, 2005.
- GUPTA, R.B.; MASCI, S.; LAFIANDRA, D.; BARIANA, H.S.; MACRITCHIE, F. Accumulation of protein subunits and their polymers in developing grains of hexaploid wheats. **Journal of Experimental Botany**, v.47, n.9, 1377-1385, 1996.
- GUSTA, L.V.; WISNIEWSKI, M.; NESBITT, N.T.; GUSTA, M.J. The effect of water, sugars, and proteins on the pattern of ice nucleation and propagation in acclimated and nonacclimated canola leaves. **Plant physiology**, v.135, n.3, p.1642-1653, 2004.
- HAJHEIDARI, M., EIVAZI, A., BUCHANAN, B.B., WONG, J.H., MAJIDI, I., Salekdeh, G.H. Proteomics uncovers a role for redox in drought tolerance in wheat. **Journal of Proteome Research**, v.6, n.4, p.1451-1460, 2007.
- 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, n.2, p. 352-356, 2006.
- HRISTOV, N.; MLADENOV, N.; DJURIC, V.; KONDIC-SPIKA, A.; MARJANOVIC-JEROMELA, A.; SIMIC, D. Genotype by environment interactions in wheat quality breeding programs in southeast Europe. **Euphytica**, v.174, n.3, p.315-324, 2010.
- HRUŠKOVÁ, M.; O. FAMERA. Prediction of wheat and flour Zeleny sedimentation value using NIR technique. **Czech Journal of Food Sciences**, v.21, n.3, p.91-96, 2003.
- HRUŠKOVÁ, M.; ŠVEC, I; JIRSA, O. Correlation between milling and baking parameters of wheat varieties. **Journal of Food Engineering**, v.77, n.3, p.439-444, 2006.
- JENNER, C.F.; UGALDE, T.D.; ASPINALL, D. The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.18, n.3, p.211-226, 1991.
- KINDRED, D.R.; GOODING, M.J.; ELLIS, R.H. Nitrogen fertilizer and seed rate effects on Hagberg falling number of hybrid wheats and their parents are associated with α -amylase activity, grain cavity size and dormancy. **Journal of the Science Food and Agriculture**, v.85, n.5, p.727-742, 2005.
- KOSMOLAK, F.G.; DYCK, P.L. Milling and baking qualities of ten spring wheat cultivars from the People's Republic of China. **Cereal Chemistry**, v.58, n.3, p.246-247, 1981.
- KURAPARTHY, V.; SOOD, S.; DHALIWAL, H.; CHHUNEJA, P.; GILL, B.S. Identification and mapping of a tiller inhibition gene (tin3) in wheat. **Theoretical and Applied Genetic**, v.114, n.2, p.285-294, 2007.
- LABUSCHAGNE, M.T.; ELAGO, O.; KOEN, E. The influence of temperature extremes on some quality and starch characteristics in bread, biscuit and durum wheat. **Journal of Cereal Science**, v.49, n.2, p.184-189, 2009.

- LAWLOR, D.W.; DAY, W.; JOHNSON, A.E.; LEGG, G.J.; PARKINSON, K.J. Growth of spring barley under drought: crop development, photosynthesis, dry matter accumulation and nutrient content. **Journal of Agricultural Science**, v.96, n.1, p.167-186, 1981.
- LERNER, S.E.; SEGHEZZO, M.L.; MOLFESE, E.R.; PONZIO, N.R.; COGLIATTI, M.; ROGERS, W.J. N- and S-fertiliser effects on grain composition, industrial quality and end-use in durum wheat. **Journal of Cereal Science**, v.44, n.1, p.2-11, 2006.
- LI, Y.F.; WU, Y.; HERNANDEZ-ESPINOSA, N.; PEÑA, R.J. Heat and drought stress on durum wheat: Responses of genotypes, yield, and quality parameters. **Journal of Cereal Science**, v.57, n.3, p. 398-404, 2013.
- LONGNECKER, N.; KIRBY, E.J.M.; ROBSON, A. Leaf emergence, tiller growth, and apical development of nitrogen-deficient spring wheat. **Crop Science**, n.1, v.33, p.154-160, 1993.
- LÚCIO, A.D.; STORCK, L.; BANZATTO, D.A. Classificação dos experimentos de competição de cultivares quanto a sua precisão. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.5, n.1, p.99-103, 1999.
- 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, n.2, p.185-194, 2000.
- MAGALHÃES, J.R., MACHADO, A.T, FERNANDES, M.S.; SILVEIRA, J.A.G. da. Nitrogen assimilation efficiency in maize genotypes under ammonia stress. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.5, n.2, p.163-166, 1993
- MAGRIN, G.O.; HALL, A.J.; BALDY, C.; GRONDONA, M.O. Spatial and interannual variations in the photothermal quotient: implications for the potential kernel number of wheat crops in Argentina. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.67, n.1, p.29-41, 1993.
- MAI, M.E.M.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; SILVEIRA, M.J.; PAVINATO, A.; PAVINATO, P.S. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia-preta/milho no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.125-131, 2003.
- MANDARINO, J.M.G. **Aspectos importantes para qualidade do trigo**. Londrina, EMBRAPA/CNPSo, 1993. 32p. (Documentos, 60).
- McGRATH, S.P.; ZHAO, F.J.; WITHERS, P.J.A. Development of sulphur deficiency in crops and its treatment. **Proceedings of the Fertiliser Society**, n.379. 47p. Peterborough, The Fertiliser Society (1996).
- MCMASTER, G.S.; WILHELM, W.W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.87, n.4, p.291-300, 1997.
- MI, G.; TANG, L.; ZHANG, F.; ZHANG, J. Is nitrogen uptake after anthesis in wheat regulated by sink size? **Field Crops Research**, v.68, n.3, p.183-190, 2000.
- MORAL, L. F. G.; RHARRABTI, Y. D. V.; ROYO, C. Evaluation of Grain Yield and Its Components in Durum Wheat under Mediterranean Conditions: An Ontogenic Approach. **Agronomy Journal**, v.95, n.2, p.266-274, 2004.

- MOTZO, R.; GIUNTA, F.; DEIDDA, M. Expression of a tiller inhibitor gene in the progenies of interspecific crosses *Triticum aestivum* L. x *T. turgidum* subsp. *durum*. **Field Crops Research**, v.85, n.1, p.15-20, 2004.
- MULLARKEY, M.; JONES, P. Isolation and analysis of thermotolerant mutants of wheat. **Journal of Experimental Botany**, v.51, n.342, p.139-146, 2000.
- NEETHIRAJAN, S.; JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G. Detection of sprouted wheat kernels using soft X-ray image analysis. **Journal of Food Engineering**, v.81, n.3, p.509-513, 2007.
- OELOFSE, R.M.; LABUSCHAGNE, M.T.; van DEVENTER, C.S. Influencing factors of sodium dodecyl sulfate sedimentation in bread wheat. **Journal of Cereal Science**, v.52, n.1, p.96-99, 2010.
- OKUYAMA, L.A.; FEDERIZZI, L.C.; BARBOSA NETO, J.F. Correlation and path analysis of yield and its components and plant traits in wheat. **Ciência Rural**, v.34, n.6, p.1701-1708, 2004.
- OLIVEIRA, D.M. de; SOUZA, M.A. de; ROCHA, V.S.; ASSIS, J.C. de. Desempenho de genitores e populações segregantes de trigo sob estresse de calor. **Bragantia**, v.70, n.1, p.25-32, 2011.
- OSÓRIO-FILHO, B.D.; RHEINHEIMER, D.S.; SILVA, L.S. da; 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, n.3, p.712-719, 2007.
- OZTURK, A.; CAGLAR, O.; BULUT, S. Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.192, n.1, p. 10-16, 2006.
- PETERSON, C.J.; GRAYBOSCH, R.A.; SHELTON, D.R.; BAENZIGER, P.S. Baking quality of hard winter wheat: Response of cultivars to environment in the Great Plains. **Euphytica**, v.100, n.2, p.157-162, 1998.
- 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, n.1, p.20-28, 2013.
- PIROZI, M.R.; MARGIOTTA, B.; LAFIANDAR, D.E.; MACRITCHIE, F. Composition of polymeric proteins and bread-making quality of wheat lines with allelic HMW_GLU differing in number of cysteines. **Journal of Cereal Science**, v.48, n.1, p. 117-122, 2008.
- PORTER, J.R.; GAWITH, M. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. **European Journal of Agronomy**, v.10, n.1, p.23-36, 1999.
- PRANDO, A.M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; BASSOI, M.C.; OLIVEIRA, F.A. de. Formas de ureia e doses de nitrogênio em cobertura no desempenho agrônômico de genótipos de trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.2, p.621-632, 2012.
- RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; STRIEDER, M. L.; DELATORRE, C. A.; BAYER, C.; ARGENTA, G. Adequação de doses de nitrogênio em milho com base em indicadores de solo e de planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 401-409, 2008.

RAO, A.C.S.; SMITH, J.L.; JANDHYALA, V.K.; PAPENDICK, R.I.; PARR, J.F. Cultivar and climatic effects on the protein content of soft white winter wheat. **Agronomy Journal**, v.85, n.5, p.1023-1028, 1993.

Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (5: 2011: Dourados, MS).

RHEINHEIMER, D.S.; RASCHE, J.W.A.; OSÓRIO-FILHO, B.D.; SILVA, L.S.; 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, n.3, p.562-569, 2005.

RIBEIRO, T.L.P.; CUNHA, G.R. da; PIRES, J.L.F.; PASINATO, A. Respostas fenológicas de cultivares brasileiras de trigo à vernalização e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.11, p.1383-1390, 2009.

RODRIGUES, O.; LHAMBY, J.C.B.; DIDONET, A.D.; MARCHESE, J.A. Fifty years of wheat breeding in Southern Brazil: yield improvement and associated changes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.6, p.817-825, 2007.

RODRIGUES, O.; LHAMBY, J.C.B.; DIDONET, A.D.; MARCHESE, J.A.; SCIPIONI, C. Efeito da deficiência hídrica na produção de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.6, p.839-846, 1998.

SANGOI, L.; BERNS, A.C.; ALMEIDA, M.L.; ZANIN, C.G.; SCHWEITZER, C. Características agrônomicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura. **Ciência Rural**, v.37, n.6, p.1564-1570, 2007.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SAWERS, R. J. H., SHEEHAN, M. J.; BRUTNELL, T. P. Cereal phytochromes: targets of selection, targets for manipulation? **Trends in Plant Science**, v.10, n.3, p.138-143, 2005.

SCHEEREN, P.L.; CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C. Resposta do trigo aos estresses causados por baixa luminosidade e excesso de água no solo. Parte II: Teste no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.5, p.605-619, 1995.

SHEWRY, P.R.; HALFORD, N.G. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. **Journal of Experimental Botany**, v.53, n.370, p.947-958, 2002.

SHEWRY, P.R.; TATHAM, A.S. **Wheat. The Royal Society of Chemistry**. Cambridge CB4 0WF, UK: 335-339, 2000.

SIAL, M. A.; Arain, M. A.; Naqvi, S. K. M. H; Dahot, M. U.; Nizamani, N. A. Yield and quality parameters of wheat genotypes as affected by sowing dates and high temperature stress. **Pakistan Journal of Botany**, v.37, n.3, p.575-584, 2005.

SILVA, E.P.; CUNHA, G.R.; PIRES, J.L.F.; DALMAGO, F.A.; PASINATO, A. Fatores abióticos envolvidos na tolerância de trigo à geadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.10, p. 1257-1265, 2008.-

SILVA, P.R.F.; STRIEDER, M.L.; COSER, R.P. da; RAMBO, L.; SANGOI, L.; ARGENTA, G.; FORSTHOFER, E.L.; SILVA, A.A. da. Grain yield kernel crude protein content increases of maize hybrids with late nitrogen side-dressing. **Scientia Agricola**, v.62, n.5, p.487-492, 2005.

SILVA, R.R.; BENIN, G.; MARCHESI, J.A.; SILVA, E.D.B; MARCHIORO, V.S. The use of photothermal quotient and frost risk to identify suitable sowing dates for wheat. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.36, n.1, p.99-110, 2014.

SILVA, R.R.; BENIN, G.; SILVA, G.O.L. da; MARCHIORO, V.S.; ALMEIDA, J.L. de; MATEI, G. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de trigo em diferentes épocas de semeadura, no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.11, p.1439-1447, 2011.

ŠÍP, V.; VAVERA, R.; CHRPOVÁ, J.; KUSÁ, H.; RŮŽK, P. Winter wheat and quality related to tillage practice, input level and environmental conditions. **Soil & Tillage Research**, v.132, n.1, p.77-85, 2013.

SLAFER, G.; ANDRADE, F.H. Changes in physiological attributes of the dry matter economy of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) through genetic improvement of grain yield potential at different regions of the world. **Euphytica**, v.58, p.37-49, 1991.

SLAFER, G.A.; RAWSON, H.M. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a reexamination of some assumptions made by physiologists and modellers. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.21, p.393-426, 1994.

SPARKES, D. L.; HOLME, S. J.; GAJU, O. Does light quality initiate tiller death in wheat? **European Journal of Agronomy**, v.24, n.3, p.212-217, 2006.

STONE, P.J.; GRAS, P.W.; NICHOLAS, M.E. The influence of recovery temperature on the effects of a brief heat shock on wheat. III. Grain protein composition and dough-properties. **Journal of Cereal Science**, v.25, n.2, p.129-141, 1997.

STONE, P.J.; NICHOLAS, M.E. A survey of the effects of high temperatures during grain filling on yields and quality of 75 wheat cultivars. **Australian Journal Agricultural Research**, v.46, n.3, p.475-492, 1995.

TAHIR, I.S.A.; NAKATA, N.; ALI, A.M. Genotypic and temperature effects on wheat grain yield and quality in a hot irrigated environment. **Plant Breeding**, v.125, n.4, p.323-330, 2006.

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, n.3, 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, n.8, p.797-804, 2010.

TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, R.C.F.; FREITAS, J.G.; ARF, O.; SÁ, M.E. Resposta de cultivares de trigo irrigados por aspersão ao nitrogênio em cobertura na região do Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.29, n.3, p.421-426, 2007.

TEWARI, S. K. AND SINGH, M. Yielding ability of wheat at different dates of sowing: a temperature development performance. **Indian Journal of Agronomy**, v.38, p.204-209, 1993.

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, n.3, p.417-425, 2011.

TRIBOI, E.; TRIBOI-BLONDEL, A.M. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem. **European Journal of Agronomy**, v.16, n., 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, n.1, p.24-29, 2006.

USDA-Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. **Estatísticas de oferta edemanda mundial de commodities agrícolas**. Disponível em <http://www.fas.usda.gov/psdonline>. Acesso em 11.03.2014.

VALÉRIO, I.P.; CARVALHO, F.I.F. de; OLIVEIRA, A.C. de; MACHADO, A.A.; BENIN, G.; SCHEEREN, P.L.; SOUZA, V.Q.de; HARTWIG, I. Desenvolvimento de afilhos e componentes do rendimento em genótipos de trigo sob diferentes densidade de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.3, p.319-326, 2008.

VAN der GON, H.; BLEEKER, A. Indirect N₂O emission due to atmospheric N deposition for the Netherlands. **Atmospheric Environment**, v.39, n.32, p.5827-5838, 2005.

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

VÁZQUEZ, D.; BERGER, A.G.; CUNIBERTI, M.; BAINOTTI, C.; MIRANDA, M.Z. de; SCHEEREN, P.L.; JOBET, C.; ZÚÑIGA, J.; CABRERA, G.; VERGES, R.; PEÑA, R.J. Influence of cultivar and environment on quality of Latin American wheats. **Journal of Cereal Science**, v.56, n. 2, 196-203, 2012.

WEEGELS, P.L.; HAMER, R.J.; SCHOLFIELD, J.D. Critical review functional properties of wheat glutenin. **Journal of Cereal Science**, v.23, n.1, p.1–18, 1996.

WHEELER, T.R.; HONG, T.D.; ELLIS, R.H.; BATTS, G.R.; MORISON, J.I.L.; HADLEY, P. The duration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat (*Triticumaestivum* L.) in response to temperature and CO₂. **Journal of experimental botany**, v.47, n. 298, p.623-630, 1996.

WIESER, H. Chemistry of glutenin protein. **Food Microbiology**, v.24, n.2, p.115-119, 2007.

WIESER, H.; GUTSER, R.; TUCHER VON, S. Influence of sulphur fertilization on quantities and proportions of gluten protein types in wheat flour. **Journal of Cereal Science**, v.40, n.3, p.239-244, 2004.

WIESER, H.; SEILMEIER, W. The influence of nitrogen fertilization on quantities and proportions of different proteins types in wheat flour. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.76, n.1, p.49-55, 1998.

XING, Z.C., RONG, H.M.; LIN, W.Z.; FU, W.Y.; QI, L. Effects of different water availability at post-anthesis stage on grain nutrition and quality in strong-gluten winter wheat. **Comptes Rendus Biologies**, v.332, n.8, p.759-763, 2009.

YUE, H.; JIANG, D.; DAI, T.; QIN, X.; JING, Q.; CAO, W. Effect of nitrogen application rate on content of gluteninmacropolymer and high molecular weight glutenin subunits in grains of two winter wheat cultivars. **Journal of Cereal Science**, v.45, n.3, p.248-256, 2007.

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

ZELNY, L., A simple sedimentation test for estimating the bread-baking and gluten qualities of wheat flour. **Cereal Chemistry**, v.24, n.4, p.465-474, 1947.

ZHANG, H.; OWEIS, T. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. **Agricultural Water Management**, v.38, n.3, p. 195-211, 1999.

ZHAO, F.J.; HAWKESFORD, M.J.; McGRATH, S.P. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. **Journal of Cereal Science**, v.30, n.1, p.1-17, 1999.

ZHONG, X.; PENG, S.; SHEEHY, J. E.; VISPERAS, R. M.; LIU, H. Relationship between tillering and leaf area index: quantifying critical leaf area index for tillering in rice. **Journal Agricultural Science**, v.138, n.5, p.269-279, 2002.

ZHOU, Y.; ZHU, H.Z.; CAI, S.B.; HE, Z.H.; ZHANG, X.K.; XIA, X.C.; ZHANG, G.S. Genetic improvement of grain yield and associated traits in the southern China winter wheat region: 1949 to 2000. **Euphytica**, v.157, n.3, p.465-473, 2007.