



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

JÉSSICA DE LUCENA MARINHO

**ADUBAÇÃO NITROGENADA E DENSIDADE DE
SEMEADURA NO DESEMPENHO PRODUTIVO, QUALIDADE
DE SEMENTES E TECNOLÓGICA DE GRÃOS DE
GENÓTIPOS DE TRIGO**

JÉSSICA DE LUCENA MARINHO

**ADUBAÇÃO NITROGENADA E DENSIDADE DE
SEMEADURA NO DESEMPENHO PRODUTIVO, QUALIDADE
DE SEMENTES E TECNOLÓGICA DE GRÃOS DE
GENÓTIPOS DE TRIGO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina como requisito à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Inês Cristina de Batista Fonseca

Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Ricardo Silva

Londrina
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Marinho, Jéssica de Lucena.

Adubação nitrogenada e densidade de semeadura no desempenho produtivo, qualidade de sementes e tecnológica de grãos de genótipos de trigo / Jéssica de Lucena Marinho. - Londrina, 2021.
158 f.

Orientador: Inês Cristina de Batista Fonseca.

Coorientador: Sérgio Ricardo Silva.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Triticum aestivum - Tese. 2. Nitrogênio - Tese. 3. Qualidade de farinha - Tese. 4. Vigor de sementes - Tese. I. Fonseca, Inês Cristina de Batista. II. Silva, Sérgio Ricardo . III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

JÉSSICA DE LUCENA MARINHO

**ADUBAÇÃO NITROGENADA E DENSIDADE DE
SEMEADURA NO DESEMPENHO PRODUTIVO, QUALIDADE
DE SEMENTES E TECNOLÓGICA DE GRÃOS DE
GENÓTIPOS DE TRIGO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina como requisito à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof. Dra. Inês Cristina de Batista
Fonseca
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Claudemir Zucareli
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Marcelo Cruz Mendes
Universidade Estadual do Centro Oeste –
UNICENTRO

Dr. Thiago Montagner de Souza
Universidade Federal da Grande Dourados –
UFGD

Dr. André Mateus Prando
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
– EMBRAPA – CNPSo

Londrina, 28 de junho de 2021

Dedicatória

Dedico este trabalho primeiramente à Deus, por me iluminar e me amparar nos momentos difíceis.

Aos meus amados pais, Bete e Wagner, pelo amor e pela confiança que sempre depositaram em mim, ao meu esposo, Henrique, por todo amor e incentivo, ao meu amado filho Gabriel, que mesmo tão pequeno, me ensina a ser forte e a não desistir e aos meus orientadores e amigos, Inês, Claudemir e Sérgio, pela paciência e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar os momentos difíceis e à Nossa Senhora de Aparecida pelo amparo e intercessão.

À Universidade Estadual de Londrina (UEL) e ao Departamento de Agronomia, incluindo o corpo docente e funcionários em geral, por ter feito parte da minha vida por 10 anos e me proporcionado a graduação, o mestrado e o doutorado.

À minha orientadora Prof. Dra. Inês Cristina de Batista Fonseca pela ajuda, atenção, paciência, dedicação, amizade e por todos os conselhos que me forneceu durante todos os anos que estive na UEL.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Sérgio Ricardo Silva pela sua grandeza como pessoa, pelos ensinamentos e oportunidades, pelo tempo dedicado à minha formação e pela confiança.

Ao meu supervisor e conselheiro Prof. Dr. Claudemir Zucareli, pelo apoio e incentivo, pelos ensinamentos, pela amizade e parceria desde a graduação, pela confiança em mim, pela compreensão nos momentos difíceis e pelas valiosas críticas e sugestões.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por acreditar na ciência, mesmo em tempos difíceis, pelo incentivo à pesquisa e pela concessão da bolsa de doutorado.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, de modo especial ao pesquisador Dr. Manoel Carlos Bassoi e ao técnico agrícola Fernando Portugal pela disponibilização de infraestrutura e pela realização dos experimentos de campo na Embrapa Soja. Ao pesquisador Dr. Sirio Wiethölter e à analista Marisa Dahmer pela realização das análises químicas de tecido foliar no Laboratório de Fertilidade de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa Trigo. Às pesquisadoras Dra. Martha Zavariz de Miranda e Dra. Eliana Maria Guarienti por providenciarem as análises de grãos e farinha de trigo no Laboratório de Qualidade Tecnológica de Grãos da Embrapa Trigo. E ao Rubson Sibaldelli do Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Soja pela coleta, consistência e disponibilização dos dados meteorológicos.

À Fundação Meridional de Apoio à Pesquisa Agropecuária pela disponibilização de trabalhadores rurais durante a instalação, manutenção e colheita dos experimentos de campo.

À minha família, especialmente aos meus amados pais, Wagner e Bete, pelos esforços a mim dedicados, pelo amor e incentivo, pelo apoio incondicional e, sobretudo, pelos seus exemplos de caráter e persistência. Ao meu esposo Henrique, por me acompanhar em cada passo, pelo amor e pela compreensão nos momentos de ausência. Ao meu amado filho Gabriel, que é minha fonte de alegria e persistência e que me ensina a ser mais forte a cada dia.

Agradeço às estagiárias Bárbara, Giovana, Letícia e Thaís pela ajuda e pelo empenho, e aos meus amigos da pós-graduação, José, Maria e Deived, pelo apoio, companheirismo e amizade.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão dessa etapa, o meu muito obrigado!

MARINHO, Jéssica de Lucena. **Adubação nitrogenada e densidade de semeadura no desempenho produtivo, qualidade de sementes e tecnológica de grãos de genótipos de trigo**. 2021. 158 p. Tese (Programa de Pós-graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

O trigo é uma das culturas mais importantes cultivadas no mundo, pois é um cereal com múltiplas aptidões. No Brasil, a instabilidade climática aliada à baixa rentabilidade da cultura tem prejudicado o avanço e o abastecimento interno de grãos no país. Por isso, a adoção de práticas agronômicas que favoreçam a produtividade e a qualidade dos grãos e das sementes produzidos é essencial para a sustentabilidade e expansão da cultura. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho produtivo e qualidade fisiológica de sementes e tecnológica de grãos de genótipos de trigo em função de doses de nitrogênio (N) e densidades de semeadura, em diferentes ambientes de cultivo. Para tanto, foram conduzidos dois conjuntos de experimentos. O primeiro foi conduzido para avaliação das características agronômicas, da eficiência de utilização de N (EUtN) e da qualidade tecnológica de grãos de trigo, com delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 10×2 , sendo dez genótipos de trigo (BRS Sanhaço, BRS Graúna, BRS Gaivota, BRS Gralha-Azul, TBIO Sinuelo, TBIO Mestre, TBIO Sossego, TBIO Sintonia, TBIO Toruk e Quartzo) e duas doses de N (40 e 120 kg ha^{-1} de N), aplicadas em cobertura. Para a avaliação das características agronômicas e eficiência de utilização de N dos genótipos de trigo, foram considerados quatro ambientes edafoclimáticos (Londrina, em condição de sequeiro e irrigado, Cascavel e Ponta Grossa, apenas em sequeiro), sendo realizadas as seguintes avaliações: matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA, conteúdo de N na MSPA, eficiência de utilização de N para produção de MSPA (EUtN_{MSPA}) e de grãos (EUtN_{GRÃOS}), altura de plantas, acamamento de plantas, densidade de espigas e rendimento de grãos. Para a avaliação da qualidade tecnológica de grãos, foram considerados três ambientes (Londrina, em condição de sequeiro e irrigado, e Ponta Grossa em condição de sequeiro), sendo realizadas as seguintes avaliações: peso hectolítrico (PH), massa de mil grãos (MMG), extração experimental de farinha (EXT), número de queda (NQ), proteína total do grão (PTG), tenacidade (P), extensibilidade (L), relação P/L, glúten úmido (GU), força de glúten (W) e índice de elasticidade (IE). O segundo conjunto de experimentos foi conduzido em três ambientes (Londrina, Ponta Grossa e Cascavel), com delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial $2 \times 3 \times 4$, sendo dois genótipos de trigo (cultivar BRS Anambé [WT 15-0080] e WT 15-025), três densidades de semeadura (250 , 350 e 450 sementes m^{-2}) e quatro doses de N (0 , 40 , 80 e 120 kg ha^{-1} de N), aplicadas em cobertura. Foram avaliadas as seguintes características de desempenho produtivo e qualidade fisiológica das sementes: altura e acamamento de plantas, densidade de espigas, rendimento de sementes, peso hectolítrico, massa de mil sementes, primeira contagem da germinação, germinação, emergência de plântulas, índice de velocidade de emergência, comprimento e massa seca de plântulas. Os dados foram submetidos à análise de variância, separadamente para cada ambiente. Para o primeiro conjunto de experimentos, os genótipos foram comparados pelo teste de Scott-Knott e a adubação nitrogenada pelo teste F. Também foi realizada a análise de correlação de Pearson entre as variáveis de características agronômicas e de eficiência de utilização de N e entre as variáveis de qualidade tecnológica dos grãos, separadamente. Para o segundo grupo de experimentos, os genótipos foram comparados pelo teste F, as

densidades comparadas pelo teste de Tukey e as doses de N submetidas à análise de regressão. Para o primeiro grupo de experimentos, as avaliações quanto às características agronômicas e eficiência de utilização de N mostraram que: as cultivares Quartzo e TBIO Toruk apresentaram o melhor e o pior desempenho produtivo e E_UtN, respectivamente; a dose de 120 kg ha⁻¹ de N favoreceu os componentes de rendimento e a absorção de N, mas proporcionou maior porcentagem de acamamento e menor E_UtN para produção de MSPA e de grãos; e genótipos com maior E_UtN apresentaram maior rendimento de grãos, enquanto genótipos com maior absorção e teor de N na parte aérea apresentaram menor E_UtN. As avaliações relacionadas a qualidade tecnológica de grãos dos genótipos de trigo mostraram que: a dose de 120 kg ha⁻¹ de N elevou a PTG nos três ambientes, e a porcentagem de GU em Londrina, em condição de sequeiro e irrigado, mas não influenciou o W dos genótipos; a P apresentou correlação positiva com NQ e com W e negativa com a EXT, e a PTG mostrou correlação positiva com GU, mas não com W. Para o segundo grupo de experimentos, as avaliações relacionadas ao desempenho produtivo e à qualidade fisiológica das sementes indicaram que: a cultivar BRS Anambé (WT 15-008) produziu sementes de melhor qualidade fisiológica do que o WT 15-025; maiores densidades de semeadura favoreceram o rendimento e a velocidade e porcentagem de germinação das sementes; a aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N favoreceu o desempenho produtivo e a qualidade fisiológica das sementes de ambos genótipos em todos ambientes e a utilização de doses elevadas de N proporcionou maior porcentagem de acamamento e reduziu o vigor das sementes produzidas.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*. Nitrogênio. Qualidade de farinha. Teor de proteína. Glúten. Germinação. Vigor.

MARINHO, Jéssica de Lucena. **Nitrogen fertilization and sowing density on yield performance, seed quality and grain technology of wheat genotypes**. 2021. 158 p. Thesis (Postgraduate Program in Agronomy) – Londrina State University, Londrina, 2021.

ABSTRACT

Wheat is one of the most important crops cultivated in the world, as it is a cereal with multiple aptitudes. In Brazil, the climate instability coupled with the low profitability of the crop have hampered the advance and the internal supply of grains in the country. Therefore, the adoption of agronomic practices that favor the yield and quality of the grains and seeds produced is essential for the sustainability and expansion of the culture. In this context, the aim of this study was to evaluate the productive performance, physiological quality of seeds and technological quality of grains of wheat genotypes as a function of nitrogen (N) doses and sowing densities, in different cultivation environments. For this, two groups of experiments were conducted. The first was carried out to evaluate the agronomic characteristics, N utilization efficiency and technological quality of wheat grains, in a randomized block design in a 10 × 2 factorial arrangement, with 10 wheat genotypes (BRS Sanhaço, BRS Graúna, BRS Gaivota, BRS Gralha-Azul, TBIO Sinuelo, TBIO Mestre, TBIO Sossego, TBIO Sintonia, TBIO Toruk e Quartzo) and two doses of N (40 and 120 kg ha⁻¹), applied in top dressing. For the evaluation of agronomic characteristics and N utilization efficiency of wheat genotypes, four edaphoclimatic environments were considered (Londrina, in rainfed and irrigated conditions, Cascavel and Ponta Grossa, only in rainfed) being carried out the following evaluations: shoot dry matter (SDM), N concentration in SDM, N accumulation in SDM, N utilization efficiency for SDM production (NUE_{SDM}) and for grains production (NUE_{GRAINS}), plant height, plant lodging, ear density and grain yield. For the evaluation of the technological quality of grain, three environments were considered (Londrina, in rainfed and irrigated conditions, and Ponta Grossa, in rainfed condition) and the following evaluations were carried out: hectoliter weight (HW), thousand grain weight (TGW), experimental flour extraction (EXT), falling number (FL), total protein content of the grain (PCG), tenacity (P), extensibility (L), relation P/L, wet gluten (WG), gluten strength (W) and elasticity index (IE). The second group of experiments was carried out in three environments (Londrina, Cascavel and Ponta Grossa), with a randomized block design in a 2 × 3 × 4 factorial arrangement, being two wheat genotypes (cultivar BRS Anambé [WT 15-008] and WT 15-025), three sowing densities (250, 350 and 450 seeds m⁻²) and four N doses (0, 40, 80 and 120 kg N ha⁻¹), applied in top dressing. The following characteristics of productive performance and physiological quality of seeds were evaluated: plant height, plant lodging, ear density, seed yield, hectoliter weight, thousand seed mass, first count, germination, seedling emergence, speed index of emergence, length and dry mass of seedlings. The data were subjected to the analysis of variance, separately for each environment. For the first group of experiments, genotypes were compared using the Scott-Knott test and N fertilization by the F test. Pearson's correlation analysis was also performed between the variables of agronomic characteristics and N utilization efficiency and between the variables of technological quality, separately. For the second group of experiments, the genotypes were compared by the F test, the sowing densities compared by the Tukey test and the N doses submitted to regression analysis. For the first group of experiments, the evaluations regarding agronomic characteristics and N utilization efficiency showed that: cultivars Quartzo and TBIO

Toruk showed the best and the worst productive performance and NUtE, respectively; the dose of 120 kg N ha⁻¹ favored the yield components and the N uptake, but provided higher percentage of lodging and lower NUtE for SDM production and for grains production; and genotypes with higher NUtE had higher grain yield, while genotypes with higher N uptake and N concentration in the SDM had lower NUtE. The evaluations related to the technological quality of wheat genotypes grains showed that: the dose of 120 kg N ha⁻¹ increased PCG in the three environments, and the percentage of WG in Londrina, in rainfed and irrigated conditions, but did not influence the W of genotypes; P showed a positive correlation with FN and W, and a negative correlation with EXT, and the PCG showed a positive correlation with WG, but did not with W. For the second group of experiments, the evaluations related to productive performance and physiological quality of seeds indicated that: cultivar BRS Anambé (WT 15-008) produced seeds with better physiological quality than WT 15-025; higher sowing densities favored the seed yield and the speed and percentage of seed germination; the application of 40 kg N ha⁻¹ favored the productive performance and physiological quality of the seeds of both genotypes in all environments and the use of high doses of N provided a higher percentage of lodging and reduced the vigor of the produced seeds.

Key words: *Triticum aestivum*. Nitrogen. Flour quality. Protein content. Gluten. Germination. Vigor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO A: ADUBAÇÃO NITROGENADA: I. CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DE CULTIVARES DE TRIGO

Figura 1 – Médias diárias de temperaturas (média, máxima e mínima) e precipitação pluvial durante o período de condução dos experimentos em Cascavel (A), Ponta Grossa (B) e Londrina (C).....76

ARTIGO B: ADUBAÇÃO NITROGENADA: II. QUALIDADE TECNOLÓGICA DE GRÃOS E FARINHA DE CULTIVARES DE TRIGO

Figura 1 – Médias diárias de temperaturas (média, máxima e mínima) e precipitação pluvial durante o período de condução dos experimentos em Ponta Grossa (A) e Londrina (B).....103

ARTIGO C: ADUBAÇÃO NITROGENADA E DENSIDADE DE SEMEADURA NO DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE GENÓTIPOS DE TRIGO

Figura 1 – Médias diárias de temperaturas (média, máxima e mínima) e precipitação pluvial durante o período de condução dos experimentos em Londrina (A), Cascavel (B) e Ponta Grossa (C).....131

Figura 2 – Acamamento de plantas de trigo em função de doses de nitrogênio (N) em Cascavel-PR.....138

Figura 3 – Densidade de espigas (DE) de trigo em função de doses de nitrogênio (N) em Cascavel-PR (A) e Ponta Grossa-PR (B)140

Figura 4 – Rendimento de sementes em função de doses de nitrogênio (N) aplicadas em cobertura na cultura do trigo cultivado em Ponta Grossa-PR.....142

Figura 5 – Massa de mil sementes em função de doses de nitrogênio (N) aplicadas em cobertura na cultura do trigo cultivado em Ponta Grossa-PR.....145

Figura 6 – Emergência (A) e índice de velocidade de emergência (IVE) (B) de plântulas de trigo em função de doses de nitrogênio (N), aplicadas em cobertura, em Cascavel-PR e Ponta Grossa-PR, respectivamente.....148

Figura 7 – Comprimento de parte aérea (A) e massa seca de raiz (B) de plântulas em função de doses de nitrogênio (N), aplicadas em cobertura, na cultura do trigo em Londrina-PR.....150

LISTA DE TABELAS

ARTIGO A: ADUBAÇÃO NITROGENADA: I. CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DE CULTIVARES DE TRIGO

- Tabela 1** – Caracterização química e física dos solos (camadas de 0–10 e 10–20 cm) das áreas experimentais de Cascavel, Ponta Grossa, Londrina-irrigado e Londrina-sequeiro77
- Tabela 2** – Resumo da análise de variância e médias de altura e acamamento de plantas de dez genótipos de trigo cultivados em quatro ambientes (Cascavel, Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio (N)80
- Tabela 3** – Desdobramento da altura de plantas de dez genótipos de trigo cultivados em Londrina-sequeiro com duas doses de nitrogênio (N)81
- Tabela 4** – Resumo da análise de variância e médias de densidade de espigas e rendimento de grãos de dez genótipos de trigo cultivados em quatro ambientes (Cascavel, Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio (N)84
- Tabela 5** – Desdobramento do rendimento de grãos de dez genótipos de trigo cultivados em Cascavel, Ponta Grossa e Londrina-irrigado, com duas doses de nitrogênio (N)85
- Tabela 6** – Resumo da análise de variância e médias de massa seca da parte aérea (MSPA), teor de N na MSPA e conteúdo de N na MSPA de dez genótipos de trigo cultivados em quatro ambientes (Cascavel, Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio (N)88
- Tabela 7** – Desdobramento do teor de N na MSPA de dez genótipos de trigo cultivados em Londrina-sequeiro com duas doses de N89
- Tabela 8** – Resumo da análise de variância e médias da eficiência de utilização de N para produção de massa seca da parte aérea ($EUtN_{MSPA}$) e para rendimento de grãos ($EUtN_{Grãos}$) de dez genótipos de trigo cultivados em quatro ambientes (Cascavel,

	Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio(N)	91
Tabela 9	– Desdobramento da eficiência de utilização de N para rendimento de grãos (EUtN _{Grãos}) de dez genótipos de trigo cultivados em Londrina-irrigado com duas doses de N.....	92
Tabela 10	– Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre variáveis de crescimento, produção de grãos e nutricionais de dez genótipos de trigo cultivados em quatro ambientes (Cascavel, Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio (N)	94
 ARTIGO B: ADUBAÇÃO NITROGENADA: II. QUALIDADE TECNOLÓGICA DE GRÃOS E FARINHA DE CULTIVARES DE TRIGO		
Tabela 1	– Caracterização química e física dos solos (camadas de 0–10 e 10–20 cm) das áreas experimentais de Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado	104
Tabela 2	– Resumo da análise de variância e médias do peso hectolítrico, massa de mil grãos, extração experimental de farinha (EXT) e número de queda de dez genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio (N)	107
Tabela 3	– Resumo da análise de variância e médias da proteína total do grão, tenacidade, extensibilidade e da relação entre tenacidade e extensibilidade de dez genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio (N)	111
Tabela 4	– Desdobramento da extensibilidade de dez genótipos de trigo cultivados em Londrina-sequeiro com duas doses de nitrogênio (N)	113
Tabela 5	– Resumo da análise de variância e médias do glúten úmido, força de glúten e índice de elasticidade de dez genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio (N)	115

Tabela 6 – Desdobramento do glúten úmido de dez genótipos de trigo cultivados em Ponta Grossa com duas doses de nitrogênio (N).....	116
Tabela 7 – Desdobramento do índice de elasticidade de dez genótipos de trigo cultivados em Ponta Grossa com duas doses de nitrogênio (N)	118
Tabela 8 – Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre variáveis de qualidade tecnológica de grãos e de farinha de dez genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), sob duas doses de nitrogênio (N).....	119

ARTIGO C: ADUBAÇÃO NITROGENADA E DENSIDADE DE SEMEADURA NO DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE GENÓTIPOS DE TRIGO

Tabela 1 – Caracterização química e física dos solos (camadas de 0–10 e 10–20 cm) das áreas experimentais de Londrina, Cascavel e Ponta Grossa	132
Tabela 2 – Resumo da análise de variância e médias da altura e acamamento de plantas de dois genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Cascavel, Ponta Grossa e Londrina), com três densidades de semeadura e quatro doses de nitrogênio (N).....	136
Tabela 3 – Desdobramento da altura de plantas (cm) de dois genótipos de trigo (WT 15- 008 e WT 15-025) cultivados em Ponta Grossa e Londrina com três densidades de semeadura (250, 350 e 450 sementes m ⁻²)	136
Tabela 4 – Desdobramento do acamamento de plantas (%) de dois genótipos de trigo (WT 15-008 e WT 15-025) cultivados em Ponta Grossa e Londrina com três densidades de semeadura (250, 350 e 450 sementes m ⁻²)	137
Tabela 5 – Resumo da análise de variância e médias da densidade de espigas e rendimento de sementes de dois genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Cascavel, Ponta Grossa e Londrina), com três densidades de semeadura e quatro doses de nitrogênio (N)	139

Tabela 6 – Desdobramento da densidade de espigas (espigas m ⁻²) de dois genótipos de trigo (WT 15-008 e WT 15-025) cultivados em Cascavel com três densidades de semeadura (250, 350 e 450 sementes m ⁻²)	140
Tabela 7 – Desdobramento do rendimentos de sementes (kg ha ⁻¹) de dois genótipos de trigo (WT 15-008 e WT 15-025) cultivados em Cascavel e Londrina com três densidades de semeadura (250, 350 e 450 sementes m ⁻²)	141
Tabela 8 – Resumo da análise de variância e médias do peso hectolítrico e massa de mil sementes de dois genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Cascavel, Ponta Grossa e Londrina), com três densidades de semeadura e quatro doses de nitrogênio (N).....	144
Tabela 9 – Resumo da análise de variância e médias da primeira contagem, germinação, emergência de plântulas e índice de velocidade de emergência (IVE) de dois genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Cascavel, Ponta Grossa e Londrina), com três densidades de semeadura e quatro doses de nitrogênio (N).....	146
Tabela 10 – Desdobramento da germinação (%) de sementes de dois genótipos de trigo (WT 15-008 e WT 15-025) cultivados em Ponta Grossa com três densidades de semeadura (250, 350 e 450 sementes m ⁻²)	147
Tabela 11 – Resumo da análise de variância e médias do comprimento de parte aérea, comprimento de raiz, massa seca de parte aérea e massa seca de raiz de plântulas de dois genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Cascavel, Ponta Grossa e Londrina), com três densidades de semeadura e quatro doses de nitrogênio (N)	149
Tabela 12 – Desdobramento do comprimento de parte aérea, comprimento de raiz e massa seca de raiz de dois genótipos de trigo (WT 15-008 e WT 15-025) cultivados em três ambientes (Cascavel, Ponta Grossa e Londrina), com três densidades de semeadura (250, 350 e 450 sementes m ⁻²)	150

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO TRIGO	20
2.1.1	Botânica, Morfologia E Desenvolvimento Fenológico Da Planta De Trigo	20
2.1.2	Ecofisiologia Do Trigo.....	22
2.1.3	Importância Econômica E Alimentar Da Cultura Do Trigo	26
2.2	GENÓTIPOS DE TRIGO.....	27
2.3	NUTRIÇÃO NITROGENADA DA PLANTA DE TRIGO	30
2.3.1	Funções Do Nitrogênio No Metabolismo De Plantas.....	31
2.3.2	Dinâmica E Disponibilidade De Nitrogênio No Solo.....	33
2.3.3	Adubação Nitrogenada Na Cultura Do Trigo	37
2.3.4	Índices De Eficiência Nutricional De N Em Trigo	42
2.4	DENSIDADE DE SEMEADURA E POPULAÇÃO DE PLANTAS NA CULTURA DO TRIGO	44
2.5	COMPONENTES DE RENDIMENTO DE GRÃOS EM TRIGO.....	46
2.6	QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE TRIGO.....	48
2.7	QUALIDADE TECNOLÓGICA DE GRÃOS DE TRIGO	51
2.7.1	Análises Físico-Químicas De Grãos E Reológicas De Farinha De Trigo	52
2.7.2	Qualidade Industrial De Grãos E De Farinha De Trigo Para Massas, Biscoitos E Panificação	54
2.8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
3	ARTIGO A - ADUBAÇÃO NITROGENADA: I. CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NITRIGÊNIO DE CULTIVARES DE TRIGO	71
3.1	RESUMO.....	71
3.2	ABSTRACT	72
3.3	INTRODUÇÃO	73
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	74

3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
3.5.1	Características Agronômicas Das Plantas.....	79
3.5.2	Absorção E Eficiência De Utilização De N.....	87
3.5.3	Correlações Entre As Variáveis.....	93
3.6	CONCLUSÕES	95
3.7	REFERÊNCIAS.....	95
4	ARTIGO B - ADUBAÇÃO NITROGENADA: II. QUALIDADE TECNOLÓGICA DE GRÃOS E FARINHA DE CULTIVARES DE TRIGO	99
4.1	RESUMO.....	99
4.2	ABSTRACT	100
4.3	INTRODUÇÃO	101
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	102
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	106
4.6	CONCLUSÕES	121
4.7	REFERÊNCIAS.....	121
5	ARTIGO C - ADUBAÇÃO NITROGENADA E DENSIDADE DE SEMEADURA NO DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE GENÓTIPOS DE TRIGO	126
5.1	RESUMO.....	126
5.2	ABSTRACT	127
5.3	INTRODUÇÃO	128
5.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	129
5.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	135
5.5.1	Desempenho Produtivo	135
5.5.2	Qualidade Fisiológica Das Sementes.....	143
5.6	CONCLUSÕES	152
5.7	REFERÊNCIAS.....	152
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	157

1 INTRODUÇÃO

O avanço da produção de trigo e o abastecimento de grãos no Brasil é limitado pela instabilidade climática observada nos últimos anos e pela baixa rentabilidade da cultura, exigindo importação de parte significativa do consumo interno. Nesse sentido, a adoção de práticas de cultivo que favoreçam a produtividade e a qualidade do trigo produzido, além da produção e disponibilização de sementes de alta qualidade, são essenciais para o desenvolvimento da triticultura nacional.

Dentre as técnicas de cultivo que favorecem a produtividade e a qualidade do trigo, a adubação se destaca, pois, a maior quantidade dos nutrientes acumulados na planta são geralmente fornecidos pelos fertilizantes. Entre os nutrientes essenciais, o nitrogênio (N) é considerado o mais importante, sendo exigido em maior quantidade pelas culturas, principalmente pelo trigo, no qual exerce influência sobre a produtividade e a qualidade de sementes, grãos e farinha. Plantas bem nutridas, principalmente com N, formam grãos e sementes de maior qualidade, com elevados teores nutricionais e conteúdo de proteínas, adequados ao mercado consumidor e, principalmente, à indústria sementeira e de alimentos.

Contudo, a adubação nitrogenada, embora necessária (devido à insuficiente quantidade de N que o solo fornece para a planta), não deve ultrapassar a dose de máxima eficiência econômica. Doses muito altas maximizam os processos de perdas de N por lixiviação, volatilização e desnitrificação, o que pode acarretar danos ambientais, além de prejudicar a planta, causando acamamento que reduz a qualidade dos grãos e sementes e dificulta a colheita mecanizada. Sendo assim, doses elevadas de N constituem gastos desnecessários que reduzem a lucratividade do produtor, já que, acima de uma determinada dose, os ganhos em produtividade e qualidade são mínimos. Por isso, recomendações de adubação, principalmente com N, devem considerar o sistema produtivo como um todo (a cultura anterior, a macrorregião tritícola, a altitude, o genótipo, a condição do solo, entre outros) não só o trigo.

A densidade de semeadura é outro fator relevante para a produção de grãos e sementes de qualidade, pois influencia os componentes de rendimento da planta. Uma adequada população de plantas reduz o acamamento e as competições inter e intraespecíficas (que geralmente reduzem a qualidade dos grãos e sementes), além de permitir um bom fechamento do dossel, promovendo maior aproveitamento

dos recursos naturais, como a radiação solar, potencializando a produção sem grandes alterações no custo de produção.

A resposta da planta de trigo à adubação nitrogenada e à densidade de semeadura varia em função de diversos fatores, sobretudo, em virtude do genótipo e das condições ambientais. Isto porque, as condições edafoclimáticas afetam a expressão genética das cultivares, que controla as respostas morfológicas e fisiológicas das plantas e, portanto, influenciam o manejo da lavoura.

Em condições favoráveis, cultivares com maior potencial de perfilhamento mantém elevada a produtividade mesmo em baixas densidades de semeadura, diferentemente de cultivares com menor perfilhamento, que dependem de maiores populações de plantas para a obtenção de elevados rendimentos de grãos e sementes. Além disso, outros componentes de produção podem ser alterados a fim de compensar falhas no estabelecimento, como o número de grãos por espiga, por exemplo. Os genótipos também apresentam respostas distintas à adubação nitrogenada, pois diferem, principalmente, quanto a eficiência de utilização de N. Sendo assim, a definição da dose de nitrogênio deve considerar as particularidades de cada genótipo, além das condições ambientais, que incluem o tipo de solo, o teor de matéria orgânica e a disponibilidade hídrica.

O potencial genético da cultivar, as condições edafoclimáticas de cultivo, as técnicas de manejo agrônomo adotadas e a interação entre esses fatores influenciam diretamente o desempenho produtivo, o potencial fisiológico das sementes e a qualidade tecnológica dos grãos e farinha de trigo. Sendo assim, compreender a relação entre esses fatores é fundamental para o planejamento e adoção de práticas que beneficiem o sistema de produção, visando maior rendimento e qualidade de sementes, grãos e farinha, conforme o objetivo da produção.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho produtivo e a qualidade fisiológica de sementes e tecnológica de grãos de genótipos trigo em função de doses de N e densidades de semeadura, em diferentes ambientes de cultivo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO TRIGO

Originária do sudoeste da Ásia, na região da Mesopotâmia também conhecida como Crescente Fértil, a planta de trigo tem sua história intimamente relacionada ao desenvolvimento da civilização humana (PIANA; CARVALHO, 2008). A domesticação dessa cultura permitiu o estabelecimento da espécie humana no mundo, pois a capacidade de produzir seu próprio alimento e armazenar excedentes permitiu o aumento populacional e a formação de povoados, assim o homem deixou de ser nômade e se tornou sedentário. A partir de então, o trigo tornou-se a base de sustentação para o desenvolvimento da agricultura, sendo de extrema importância na alimentação humana até os dias atuais (BARBIERI; STUMPF, 2008; CONAB, 2020).

O Brasil possui elevado potencial para a produção de trigo. No país cultiva-se o trigo de primavera, que não necessita que temperaturas muito frias para estimular o florescimento (vernalização), por isso, há diversas regiões com condições propícias para o desenvolvimento da cultura, como clima, materiais genéticos adaptados, tradição agrícola, tecnologia e condições favoráveis de solo (FORNASIERI FILHO, 2008; ALBERTO et al., 2009; EMBRAPA, 2016).

Além disso, o trigo apresenta papel fundamental na prática de rotação de culturas, principalmente no sul do país, pois, além do retorno econômico, o cultivo dessa espécie em rotação com outras culturas promove diversos benefícios, dentre os quais o controle fitossanitário se destaca, já que cultivar uma gramínea (*Poaceae*) antes do cultivo de outra família de planta, como uma leguminosa (*Leguminosae*), constitui uma técnica de manejo muito eficiente para interromper o ciclo reprodutivo de pragas e microrganismos fitopatogênicos e, até mesmo, para o controle de plantas daninhas (SANTOS; FONTANELI, 2002).

2.1.1 Botânica, Morfologia e Desenvolvimento Fenológico da Planta de Trigo

Pertencente à família *Poaceae* (anteriormente *Gramineae*) e ao gênero *Triticum*, a planta de trigo possui mais de 30 espécies, dentre as quais três se destacam como as principais espécies de cultivo: *T. monococcum*, *T. durum* e *T. aestivum* (CONAB, 2017), sendo o *T. aestivum* cultivado em maior quantidade no

mundo, pois é um cereal de múltiplos propósitos, servindo de matéria prima para a fabricação dos mais diversos produtos (SCHEUER et al., 2011; CONAB, 2017).

A planta de trigo apresenta sistema radicular fasciculado, dividido em raízes seminais, permanentes (coroa) e adventícias. As raízes seminais, originadas da semente, são importantes até o início do estágio de perfilhamento, uma vez que são responsáveis pelo estabelecimento da plântula. A coroa (raízes permanentes) é formada em uma profundidade de 1 a 2 cm abaixo da superfície do solo, cerca de 20 dias após a emergência da plântula. Já as raízes adventícias eventualmente surgem acima da superfície do solo, no primeiro ou segundo nó da planta (SCHEEREN; CASTRO; CAIERÃO, 2015).

O colmo do trigo, assim como em outros cereais de inverno, é oco, ereto e constituído de nós e entrenós, podendo atingir de 0,5 a 1,5 m de altura. Na fase de perfilhamento, novos colmos, denominados perfilhos, surgem dos nós da coroa, envolvidos em estruturas foliares denominadas prófilos. Folhas surgem dos nós dos colmos, dispostas de forma alternada e compostas pela bainha, lâmina, lígula e um par de aurículas. A inflorescência do trigo é uma espiga composta por grupos de 15 a 20 espiguetas, sendo estas formadas por 3 a 5 flores. O fruto é do tipo cariopse, pequeno e seco e é composto pelo pericarpo, que inclui várias camadas que formam a casca do grão; pelo endosperma, também conhecido como tecido de reserva, que representa cerca de 80% do grão e é rico em amido e determinadas proteínas; e pelo embrião, que é a parte “viva” da semente que originará uma nova planta em condições adequadas (SCHEUER et al., 2011).

O ciclo de desenvolvimento da planta de trigo é dividido, basicamente, em três fases. A primeira é a fase vegetativa, que inclui a semeadura, a emergência das plântulas, a formação dos primórdios foliares do colmo principal, o perfilhamento e encerra com a iniciação floral. A partir de então se inicia a fase reprodutiva, marcada pelo alongamento dos entrenós que ocorre simultaneamente com o crescimento da espiga e a formação dos primórdios florais. A fase reprodutiva inclui também o emborrachamento, etapa na qual a espiga encontra-se protegida sob a bainha da folha bandeira, sendo um dos estádios mais sensíveis a estresses hídricos e térmicos, por coincidir com a formação do grão de pólen; e a floração (antese), caracterizada pelo alongamento do último entrenó, culminando no aparecimento da espiga (espigamento) que contém as flores já diferenciadas, que são autofecundadas antes mesmo da abertura do botão floral. A partir de então, inicia-se a fase de enchimento

de grãos, que começa na antese e se estende até a maturidade fisiológica, etapa na qual o grão atinge o máximo acúmulo de matéria seca (SLAFER; RAWSON, 1994; FORNASIERI FILHO, 2008).

A temperatura ideal para o desenvolvimento do trigo cultivado no Brasil é em torno de 20 °C, sendo que a temperatura ótima para a ocorrência da fecundação varia de 18 a 24 °C. Na fase de enchimento dos grãos, os nutrientes acumulados no colmo e nas folhas são translocados, em grande parte, para a espiga (SCHEEREN; CASTRO; CAIERÃO, 2015). Por isso, é fundamental garantir o ótimo crescimento e desenvolvimento das plantas para que estas alcancem o máximo acúmulo de fotoassimilados e obtenham elevados rendimentos e qualidade de grãos e/ou sementes.

Compreender as características morfológicas e o desenvolvimento fenológico do trigo é essencial, pois a implantação de práticas de cultivo que previnam perdas e maximizem a produtividade (como adubação, controle de pragas, doenças e plantas invasoras) são baseadas nos estádios de desenvolvimento da cultura. Esses estádios são identificados por meio de características morfológicas, e não com base no calendário, isto porque o ciclo e as fases fenológicas das plantas são afetados pelo ambiente e podem não ter a mesma duração em épocas e/ou locais distintos (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2001).

Apesar de existirem diferentes escalas para descrever o desenvolvimento fenológico do trigo, todas apresentam, basicamente, as mesmas etapas. O que muda entre as escalas é o nível de detalhamento, sendo a escala desenvolvida por Zadoks; Chang; Konzac (1974) a mais detalhada. Resumidamente, as plantas têm momentos específicos nos quais apresentam maior aproveitamento dos insumos aplicados ou são mais responsivas à determinadas práticas de manejo (GARCÍA, 1991). Portanto, a identificação de tais momentos é fundamental para a obtenção de altos rendimentos de grãos.

2.1.2 Ecofisiologia do Trigo

A influência dos fatores ambientais no crescimento e desenvolvimento do trigo deve-se à interação entre estes e os fatores de produção, como genótipo, adubação, densidade de semeadura, entre outros. O conhecimento dos efeitos destes fatores ecológicos (temperatura, água, radiação solar, fotoperíodo, ventos e solo)

sobre a cultura é fundamental para definição de técnicas de manejo adequadas a cada ambiente de cultivo (FREITAS; SOUZA; SILVA, 2013).

As diferentes condições meteorológicas encontradas nas regiões tritícolas ocorrem devido as variações das coordenadas geográficas (altitude, latitude e longitude) (CUNHA et al., 2006). A faixa de temperatura ótima para o bom desenvolvimento do trigo é de 18 a 24 °C (CASTRO; KLUGE; SESTARI, 2008). Temperaturas muito baixas (geadas) ou superiores a 30 °C, podem causar perdas significativas no rendimento e na qualidade de grãos e sementes produzidos (RIBEIRO et al., 2012). Os efeitos do frio ou do calor intenso dependem do estágio de desenvolvimento da cultura, da duração do estresse e da tolerância de cada genótipo (FOWLER; LIMIN; RITCHIE, 1999).

Durante o início do desenvolvimento do trigo, a ocorrência de baixas temperaturas prolonga a fase vegetativa, o que proporciona maior número de perfilhos e maior crescimento do sistema radicular, além de reduzir a incidência de pragas e doenças. Contudo, a partir de fases mais tardias, como no florescimento e espigamento, a ocorrência de geadas causa danos severos à cultura, o que reflete no rendimento de grãos e sementes (FREITAS; SOUZA; SILVA, 2013). Por outro lado, temperaturas mais altas reduzem o ciclo das plantas, o que promove também reduções na altura e nos componentes de rendimento do trigo. Na fase reprodutiva, o calor excessivo provoca danos mais acentuados, resultando, principalmente, em grãos de menor massa (FOWLER; LIMIN; RITCHIE, 1999).

A água é outro importante fator ambiental que influencia diretamente o crescimento e o desenvolvimento do trigo. Uma boa disponibilidade hídrica logo no início do estabelecimento da cultura é fundamental para garantir elevada taxa de germinação das sementes, que necessitam absorver cerca de 35 a 45% de sua massa em água para iniciar a retomada do crescimento do embrião. O estresse hídrico no início do desenvolvimento da cultura provoca atraso e desuniformidade na emergência das plântulas. No período reprodutivo e enchimento de grãos, o estresse por excesso ou falta de água reduz, principalmente, o rendimento e a qualidade dos grãos e sementes produzidos (FREITAS; SOUZA; SILVA, 2013).

O excesso de chuvas na maturação e colheita é um problema recorrente do trigo cultivado no Brasil. O excesso de água provoca a germinação pré-colheita, que afeta negativamente o rendimento e, principalmente, a qualidade tecnológica dos grãos e fisiológica das sementes produzidas. Nesse sentido, a

disponibilidade de água da região de cultivo afeta diretamente a escolha de cultivares, sendo que em ambientes com excesso de chuvas na fase final de desenvolvimento, cultivares tolerantes à germinação na espiga devem ser preconizadas. Por outro lado, em locais com déficit hídrico, genótipos mais tolerantes à falta de água são mais indicados (PELLIZZARO et al., 2016; ZHANG; XIA; HE, 2017).

A disponibilidade hídrica também influencia diretamente a definição da densidade de semeadura do trigo, isto porque, em densidades mais elevadas há um aumento na competição intraespecífica pelos recursos disponíveis, sobretudo, pelos recursos hídricos (ALVARENGA et al., 2009). Loregian et al. (2019), observaram em seu trabalho que maiores densidades de semeadura necessitam de maior disponibilidade hídrica para a obtenção de elevadas produtividades em trigo.

A radiação solar é outra variável essencial para o crescimento, desenvolvimento e rendimento do trigo, e influencia, sobretudo, a densidade de semeadura e a escolha das cultivares. Isto porque, a luz solar constitui um recurso ambiental pelo qual as plantas competem, assim como por água e nutrientes, por isso a disponibilidade deste recurso influenciará diretamente a densidade de semeadura (GROSS et al., 2012; ABATI et al., 2017). Além disso, a intensidade e disponibilidade da radiação solar influencia a escolha de cultivares, uma vez que, as plantas devem apresentar uma morfologia que permita o melhor aproveitamento da luz e o melhor fechamento do dossel, de forma a maximizar a eficiência fotossintética (TEIXEIRA; STONE; HEINEMANN, 2015).

Além dos fatores mencionados, o fotoperíodo e a ocorrência de ventos são fatores ambientais que podem influenciar o rendimento e a qualidade dos grãos e sementes de trigo. Apesar de ser considerado uma planta de dias longos, a sensibilidade ao fotoperíodo é uma característica dependente do genótipo. Além disso, ventos intensos (superiores à 40 km h^{-1}) podem acarretar o acamamento da cultura, o que reduz o rendimento e qualidade dos grãos e sementes. No entanto, é importante ressaltar que, assim como o fotoperíodo, a sensibilidade ao acamamento é controlada geneticamente, sendo os genótipos mais altos, geralmente, mais suscetíveis. Outros fatores ambientais, além do vento, como a adubação nitrogenada em excesso, também podem proporcionar o acamamento da cultura. Portanto, cultivares resistentes ao acamamento são sempre as mais indicadas (MONTEIRO, 2009).

As propriedades físicas e químicas do solo constituem outro fator ambiental de extrema importância para o crescimento e desenvolvimento do trigo. A textura e o estado nutricional do solo de cultivo influenciam, por exemplo, a mineralização da matéria orgânica, a disponibilidade de N e, conseqüentemente, a definição adubação nitrogenada (BITTAR; FERREIRA; CORRÊA, 2013).

Além disso, as características físicas e químicas dos solos também influenciam a escolha de cultivares (em solos com menores teores nutricionais e com maior teor de alumínio, por exemplo, genótipos com maior eficiência nutricional e mais tolerantes devem ser indicados) (WIETHÖLTER, 2011) e a definição da melhor densidade de semeadura, uma vez que, em maiores populações as plantas competem por recursos do meio, sobretudo, por nutrientes (MARINHO et al., 2021), sendo assim, solos com maiores teores nutricionais permitem a utilização de maiores densidades de semeadura.

Devido à grande influência do ambiente de cultivo no desempenho produtivo e na qualidade dos grãos e sementes dos genótipos de trigo, materiais genéticos adaptados são desenvolvidos, especificamente, para cada região. O Brasil é dividido em quatro regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo (RHACT), sendo elas: região I que é fria e úmida; região II, moderadamente quente e úmida; região III, quente e moderadamente seca e, região IV, definida como quente e seca (abrange principalmente o cerrado brasileiro) (CUNHA et al., 2011).

O estado do Paraná (PR), um dos principais produtores de trigo, abrange três RHACT do Brasil, sendo que Ponta Grossa, Cascavel e Londrina, ambientes de estudo do presente trabalho localizados no PR, constituem as RHACT I, I e III, respectivamente (FOLONI; BASSOLI; SILVA, 2016).

A delimitação das regiões homogêneas de adaptação para cultivares de trigo no Brasil considera a precipitação pluvial do ambiente durante o crescimento do trigo, a quantidade de frio (temperatura mínima) e de calor (temperatura máxima) durante o enchimento de grãos, a altitude e a produtividade média histórica do local, desconsiderando assim as fronteiras políticas que delimitam os estados e municípios (CUNHA et al., 2011).

Em Ponta Grossa e Cascavel (regiões I e II) a precipitação pluvial supera a exigência de água da cultura e, por isso, estes locais compõem a zona úmida, na qual a principal limitação está relacionada ao excesso de umidade. Sendo assim, o regime térmico é que distingue as duas regiões, sendo a primeira (Ponta

Grossa) fria e, a segunda (Cascavel) moderadamente quente (FOLONI; BASSOI; SILVA, 2016).

Na região fria e úmida, que abrange a faixa leste do sul brasileiro, há áreas de maior altitude ou latitude, por isso as temperaturas são mais amenas. A região moderadamente quente e úmida, limita-se a porção oeste do sul do país, incluindo Cascavel. Os efeitos das diferenças regionais são exibidos no rendimento da cultura. Na região fria e úmida, as condições climáticas são mais favoráveis ao desenvolvimento do trigo, por isso, nesta zona maiores produtividades são obtidas (CUNHA et al., 2011).

Na terceira região do estado, estão localizadas as áreas de menor altitude, incluindo Londrina, e, apesar da possibilidade de ocorrência de deficiência hídrica em fases críticas em alguns anos, esta zona oferece condição climática favorável a cultura, permitindo a expressão do máximo potencial de rendimento e qualidade dos grãos e sementes das cultivares de trigo (FOLONI; BASSOI; SILVA, 2016; CUNHA et al., 2011).

2.1.3 Importância Econômica e Alimentar da Cultura do Trigo

O trigo é um dos cereais mais cultivados no mundo, ocupando o segundo lugar em termos de consumo e produção mundial. Atualmente, a produção global de trigo está em torno 766 milhões de toneladas por ano, sendo a União Europeia, Rússia, China, Índia e Estados Unidos os maiores produtores deste cereal (USDA, 2020).

No Brasil, na safra de 2019, a área cultivada com trigo atingiu 2,04 milhões de hectares com produção aproximada de 5,2 milhões de toneladas e produtividade média de 2.557 kg ha⁻¹ (CONAB, 2019). Na safra de 2020 houve um incremento de cerca de 14% na área cultivada e de 32% na produção nacional de trigo devido, principalmente, aos preços atrativos e às condições climáticas favoráveis (CONAB, 2020). Para a safra de 2021, estimam-se aumentos de 1,6% na área de cultivo, 0,6% na produtividade e 2,2% na produção nacional de trigo (CONAB, 2021).

Apesar de a produtividade média do trigo ser baixa, em comparação a outras culturas como a soja e o milho, há regiões no Brasil que atingem maiores valores, como 6.000, 4.105 e 5.400 kg ha⁻¹, na Bahia, no Distrito Federal e em Goiás, respectivamente. Isto ocorre porque nestas regiões há áreas de cultivo cujo nível de

investimento tecnológico é alto, incluindo a irrigação e os riscos climáticos são baixos. Contudo, nessas regiões a área destinada ao cultivo de trigo é pequena, desse modo, sua produção total é pouco expressiva e não contribui significativamente para a produção. Historicamente a produção nacional desse cereal é insuficiente para suprir a demanda, sendo necessária a importação de trigo para abastecimento interno (CONAB, 2017).

Além da importância do trigo para a economia global, por ser um dos cereais mais cultivados no mundo (TAKETTI, 2015), a cultura também tem grande importância alimentar, já que está amplamente inserida na dieta humana e é consumida nas mais variadas formas. Os derivados imediatos do processamento de trigo são, principalmente, as farinhas branca e integral, além de outros subprodutos. A farinha branca é utilizada em larga escala, principalmente pela indústria, para fabricação de massas em geral, pois é rica em glúten que confere características como tenacidade e elasticidade aos produtos fabricados. As farinhas de trigo também são utilizadas na fabricação de pães, bolos, biscoitos, cereais matinais, entre outros produtos. Além disso, o trigoilho (trigo miúdo) é usado para fabricação de farinha para quibe e outros produtos, sendo todos estes de alto valor nutricional, já que são ricos em carboidratos, vitaminas do complexo B e ferro (COSTA et al., 2008; SCHEUER et al., 2011).

É importante ressaltar também que o processamento do trigo gera subprodutos importantes, que são destinados à alimentação animal. No processo de fabricação da farinha cerca de 28% do grão não é utilizado, cuja fração origina o farelo de trigo, que é direcionado à nutrição do gado leiteiro e outros animais, devido ao seu grande valor proteico. Nesse sentido, o trigo pode ser considerado um cereal de múltiplos propósitos, pois pode ser utilizado nas dietas humana e animal, e até mesmo para a produção de cosméticos, cervejas, entre outros produtos (FORNASIERI FILHO, 2008; WESENDONCK et al., 2013), o que evidencia a importância desse cereal para a sociedade como um todo.

2.2 GENÓTIPOS DE TRIGO

O cultivo do trigo sob diferentes condições edafoclimáticas impulsionou o desenvolvimento de novas cultivares adaptadas às diferentes regiões tritícolas. Apesar da planta de trigo apresentar certa plasticidade dos componentes de

rendimento em resposta a alterações ambientais, as condições edafoclimáticas das regiões de cultivo influenciam a expressão dos genes que controlam as respostas morfológicas e fisiológicas das plantas e, portanto, afetam diretamente o manejo da lavoura (FRANCESCHI et al., 2010; TAVARES et al., 2014; MARINHO et al., 2021).

A capacidade de perfilhamento é uma característica controlada geneticamente e, influenciada pela interação genótipo \times ambiente, que afeta diretamente a definição da densidade de semeadura (FIOREZE et al. 2012; VALÉRIO et al. 2013). Genótipos de trigo com maior potencial de perfilhamento são capazes de manter elevado o rendimento de grãos e sementes, mesmo cultivados em baixas densidades. Em contrapartida, cultivares com baixo potencial de perfilhamento dependem de maiores densidades de semeadura para a obtenção de altos rendimentos, uma vez que, apresentam menor eficiência em compensar o menor número de espigas por unidade de área (VALÉRIO et al., 2009; MARINHO et al., 2021). Nesse sentido, o ajuste da densidade de semeadura em função do genótipo e do ambiente, evita a competição excessiva entre plantas e contribui para a obtenção de elevado rendimento e qualidade de grãos e sementes (TAVARES et al., 2014).

O genótipo utilizado também influencia, em conjunto com outros fatores, o manejo da adubação em trigo, sobretudo, a fertilização nitrogenada. Isto porque, a dose de N recomendada baseia-se, dentre outros aspectos, na estatura das plantas. Para cultivares de porte mais elevado, menores doses de N são recomendadas, dependendo da fertilidade do solo, ou doses de N em conjunto com reguladores de crescimento são indicadas. Por outro lado, para cultivares que apresentam porte mais baixo, moderada resistência ao acamamento e elevado potencial de rendimento, maiores doses podem ser utilizadas (PENCKOWSKI; ZAGONEL; FERNANDES, 2009).

Além disso, é importante ressaltar que os genótipos respondem de forma diferente à adubação nitrogenada (COSTA; ZUCARELI; RIEDE, 2013), pois apresentam diferenças quanto a adaptação às diferentes regiões de cultivo, ciclo de desenvolvimento, período de maturação (GUARIENTI et al., 2005) e, principalmente, quanto a eficiência de utilização de N (EUtN) (BECHE et al., 2014). Genótipos mais modernos tendem a apresentar maior EUtN, sendo assim, menores doses de N devem ser utilizadas. No entanto, outros fatores, além da genética, influenciam a EUtN das cultivares, como o ambiente de cultivo por exemplo, e, portanto, devem ser

considerados para a recomendação da adubação nitrogenada (SILVA et al., 2014b; BECHE et al., 2014; TODESCHINI et al., 2016).

O desenvolvimento de novos genótipos, aliado à evolução das técnicas de cultivo, permitiu um incremento significativo na produtividade do trigo (OURY et al., 2012). Somente nos últimos 30 anos, a produtividade média da cultura triplicou no Brasil, o que pode estar relacionado a maior tolerância das cultivares à acidez do solo e a resistência às principais doenças do trigo (EMBRAPA, 2016).

O potencial produtivo das cultivares de trigo brasileiras varia em função da região de cultivo e do manejo empregado (CUNHA et al., 2011; CBPTT, 2020). No sul do Brasil, o potencial de rendimento das cultivares pode chegar a 7000 kg ha⁻¹, enquanto que na região do Cerrado as cultivares chegam a produzir de 8000 a 9000 kg ha⁻¹ em regime irrigado. Por outro lado, em regime de sequeiro, o potencial de rendimento de grãos nesta região é muito inferior, situando-se em torno de 3000 a 4000 kg ha⁻¹ (EMBRAPA, 2016). É importante ressaltar que o máximo potencial produtivo das cultivares dificilmente é atingido em lavouras comerciais, pois sofre influência de diversos fatores extrínsecos a planta.

O melhoramento genético de trigo no Brasil teve início em 1919 e, importantes cultivares foram desenvolvidas deste período até os dias atuais (CAIERÃO et al., 2014). A cultivar Frontana, resultado do cruzamento entre as cultivares Fronteira e Mentana, lançada em meados de 1940, foi um marco na triticultura nacional, pois reunia características importantes para a época, como ciclo precoce, porte baixo em relação às outras cultivares existentes, resistência ao crestamento, à ferrugem e à germinação na espiga, sendo fonte de resistência para outros genótipos por várias décadas (FORNASIEIRI FILHO, 2008; SCHEEREN et al., 2011).

Apesar do início do melhoramento genético de trigo no Brasil ser superior a 100 anos, a busca por cultivares com elevada qualidade tecnológica dos grãos é recente. A primeira instrução normativa que estabeleceu classes, em função da aptidão industrial, para os trigos produzidos no Brasil foi aprovada em 1994 e marcou o início da busca por cultivares com grãos de melhor qualidade (CONAB, 2017). Em 2010, a publicação da instrução normativa nº 38 elevou ainda mais o padrão de qualidade para a classificação do trigo (BRASIL, 2010), estimulando assim o desenvolvimento novas de cultivares com um padrão de qualidade industrial ainda mais elevado (BORNHOFEN, 2015).

Atualmente, as características desejadas em um genótipo de trigo não são as mesmas almejadas no século passado. As cultivares modernas devem apresentar ciclo precoce, porte baixo, folhas curtas e eretas, colmo resistente, elevado potencial de perfilhamento, resistência ou tolerância aos principais estresses bióticos (pragas, doenças) e abióticos (acamamento) da cultura, elevado potencial de rendimento de grãos e estabilidade no padrão de qualidade tecnológica (EMBRAPA, 2016).

No entanto, reunir todas essas características em uma cultivar ainda é um desafio e, por isso, procura-se agrupar o maior número de atributos em um mesmo genótipo. Além disso, a inclusão de outras características nas cultivares, como tolerância ao frio, ao calor, à germinação na espiga, entre outros, depende dos objetivos do programa de melhoramento, da instituição obtentora e, principalmente, da região para a qual a cultivar está sendo desenvolvida, isto porque, as condições ambientais mudam de acordo com a zona de cultivo (CUNHA et al., 2006).

2.3 NUTRIÇÃO NITROGENADA DA PLANTA DE TRIGO

A adoção de práticas de manejo que maximizem a produtividade e a lucratividade das lavouras de trigo no Brasil é importante para o avanço da triticultura nacional. Dentre essas práticas, a nutrição nitrogenada se destaca, pois afeta diretamente o crescimento e o desenvolvimento do trigo, influenciando seu potencial produtivo (SANGOI et al., 2007). Isso porque o N possui funções estruturais nas plantas, sendo um constituinte essencial de proteínas e compostos orgânicos, o que o torna fundamental para o metabolismo dos vegetais (ANDRADE et al., 2003), além de exercer influência direta sobre a qualidade dos grãos e/ou sementes produzidos (MATTUELLA et al., 2018).

Compreender as funções do N na planta, bem como a sua dinâmica e disponibilidade no solo é essencial para a definição do manejo da adubação nitrogenada, que deve ser feita de modo a garantir a máxima eficiência de utilização deste nutriente pela cultura e a otimização dos insumos aplicados, evitando perdas e contribuindo para aumentar o rendimento e a qualidade dos grãos e sementes.

2.3.1 Funções do Nitrogênio no Metabolismo de Plantas

O N é um nutriente essencial para as plantas, pois, além de fazer parte da constituição de paredes celulares, proteínas, clorofila, ácidos nucléicos, enzimas e biomoléculas importantes (como ATP, NADH e NADPH), participa de rotas metabólicas-chaves e de reações essenciais para a sobrevivência dos vegetais, como a respiração, a fotossíntese e a multiplicação e diferenciação das células (SOUZA; FERNANDES, 2006).

As raízes das plantas absorvem N nas formas de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), sendo que a maior quantidade de N é absorvida na forma de NO_3^- . Porém, a nível celular, a planta não é capaz de utilizar diretamente o NO_3^- , reduzindo-o a NH_4^+ para ser incorporado nos constituintes celulares, formando compostos nitrogenados (MALAVOLTA, 2006). O processo de redução de NO_3^- a NH_4^+ ocorre nos cloroplastos com o auxílio da enzima nitrato redutase. O NH_4^+ que é absorvido do solo, ou produzido pelo processo de redução, não se acumula na planta, pois é tóxico e inibe a produção de ATP nos cloroplastos e nas mitocôndrias, agindo como desacoplador da fosforilação. As enzimas glutamina sintetase (GS), glutamato sintase (GOGAT), glutamato desidrogenase (GDH), aspartato aminotransferase (AspAT) e asparagina sintetase (AS) são responsáveis pela biossíntese dos aminoácidos portadores de N (glutamina, glutamato, asparagina e aspartato). Estudos bioquímicos revelaram a existência de múltiplas isoenzimas para cada uma dessas enzimas (LAM et al., 1996).

Plantas que apresentam um bom suprimento de N são mais eficientes em assimilar CO_2 e sintetizar carboidratos durante a fotossíntese, o que favorece a multiplicação e divisão celular, resultando em maior produção de biomassa, maior área foliar e, conseqüentemente, maior produção (HEINEMANN et al., 2006). Além disso, o N é responsável por propiciar ao trigo um perfilhamento adequado, aumenta a eficiência da taxa de enchimento de grãos e, também, favorece a qualidade dos grãos, já que eleva o teor de proteínas dos mesmos (FORNASIERI FILHO, 2008; NEUMANN et al., 2009).

Segundo Kolchinski; Schuch (2004), em cereais as vias metabólicas de proteína e de amido competem por fotoassimilados durante o período de enchimento de grãos e, quando a necessidade de N para a síntese de amido é satisfeita, o nutriente é direcionado para elevar a concentração de proteínas nos

grãos. Contudo, em caso de carência de N, os fotoassimilados que seriam convertidos em proteínas são usados na síntese de carboidratos, o que reduz a qualidade do produto final.

É importante ressaltar que o N acumulado pela cultura durante o ciclo pode afetar a qualidade fisiológica das sementes produzidas, já que este nutriente participa da constituição de biomoléculas fundamentais e contribui para a formação do tecido de reserva das sementes (KOLCHINSKI; SCHUCH, 2003a). Sendo assim, o suprimento inadequado de N pode afetar negativamente a germinação e o vigor das sementes produzidas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

A deficiência de N em *Poaceas* também afeta negativamente características fisiológicas e morfológicas das plantas, tais como: formação de folhas, emissão de perfilhos, capacidade fotossintética, entre outros (NEUMANN et al., 2009). A deficiência de N causa morte foliar, o que compromete a fotossíntese e, conseqüentemente, o crescimento e o desenvolvimento das plantas e, portanto, a produtividade; por isso, a carência desse nutriente torna-se um fator limitante ao sistema de produção (MENECHIN et al., 2008).

Segundo Schadchina; Dmitrieva (1995), o teor de clorofila presente nas folhas das plantas tem correlação positiva com o teor de N desses vegetais, o que comprova a importância desse nutriente como constituinte de biomoléculas essenciais. De acordo com Argenta; Silva; Bortolini (2001), o N absorvido em quantidade adequada pelas plantas está associado à clorofila, entretanto, quando absorvido em excesso, esse nutriente é armazenado como NO_3^- , o que caracteriza o "consumo de luxo". Portanto, é importante que a quantidade de N disponível seja adequada, já que a falta pode causar danos às folhas, o que compromete todo desenvolvimento da planta, e o excesso pode acarretar danos ao ambiente e aumento do custo de produção.

Sangoi et al. (2007) estudando as características agrônomicas do trigo em resposta à adubação nitrogenada de cobertura, observaram que a aplicação de N influencia positivamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas, elevando a produtividade e caracterizando-se como uma das mais importantes práticas de manejo. Bennett et al. (2011), estudando a aplicação de N em cobertura no trigo cultivado no Cerrado em duas safras, constataram também a influência positiva do N sobre algumas características da cultura, como espiguetas por espiga, grãos por espiga, teor de clorofila, massa de grãos por espigas e a produtividade de grãos.

2.3.2 Dinâmica e Disponibilidade de Nitrogênio no Solo

O gás N_2 , constituinte da atmosfera terrestre, pode ser considerado a fonte primária de N para plantas. No entanto, para que o N_2 seja absorvido pelas culturas, é necessário que ele seja “fixado” através dos processos de redução ou oxidação realizados por microrganismos especializados (fixação simbiótica e não simbiótica), por descargas elétricas (fixação elétrica) ou fixado quimicamente (processos industriais) (VILLAR, 2007).

A fixação biológica, realizada por microrganismos é mais comum e eficiente em algumas leguminosas, como a soja, que estabelecem uma relação de simbiose, embora já existam outros microrganismos que promovem essa fixação independentemente da cultura, mas em quantidades inferiores, não dispensando assim o uso de fertilizantes nitrogenados (FERNANDES et al., 2013).

No solo, grande parte do N é proveniente da matéria orgânica, já que a maioria dos solos agrícolas possuem grande quantidade de N orgânico (MENEGHIN et al., 2008). Contudo, a maior parte desse N não está disponível para os vegetais, pois, estando na forma orgânica, precisa ser liberado na forma mineral para ser absorvido (principalmente NO_3^- e NH_4^+). Isso ocorre por meio do processo de mineralização, que depende de diversos fatores, como temperatura, pH, umidade, aeração, quantidade e relação C/N do material orgânico disponível, entre outros. Solos que têm maior disponibilidade de N apresentam maior velocidade de transformação do N orgânico em N mineral, devido ao favorecimento da mineralização em relação à imobilização desse nutriente (KOLCHINSKI; SCHUCH, 2003a).

A mineralização é o processo de conversão do N da matéria orgânica do solo (MOS) em NH_4^+ e NO_3^- (formas disponíveis às plantas). Este processo ocorre por meio de três reações sucessivas: aminação, amonificação e nitrificação. A aminação consiste na quebra da MOS por microrganismos diversos, sendo que nos estágios finais dessa reação há a liberação de aminas e aminoácidos. Na amonificação os substratos liberados na aminação são “atacados” por bactérias, fungos e actinomicetos que liberam compostos amoniacais, principalmente NH_4^+ . O NH_4^+ formado pode ser absorvido diretamente pelas plantas; ser imobilizado por organismos heterotróficos (para decomposição de outros resíduos orgânicos); ser adsorvido por forças eletrostáticas na superfície de argilas 1:1 e 2:1 (tomando parte

do complexo sortivo/CTC do solo) ou ser utilizado como substrato na nitrificação (MENDONÇA; LOURES, 1996).

Na nitrificação o NH_4^+ produzido na fase anterior (ou adicionada via fertilizantes) é oxidado para NO_3^- por meio de duas etapas: primeiro o NH_4^+ é convertido para NO_2^- , principalmente por bactérias autotróficas Nitrosomonas; em seguida, o NO_2^- é transformado para NO_3^- por bactérias autotróficas do gênero Nitrobacter. A nitrificação é uma reação que: requer oxigênio (O_2), portanto, é mais rápida em solos bem aerados; libera H^+ (cada molécula de NH_4^+ libera 2 H^+), por isso gera acidez no solo; é uma reação microbiológica, portanto é influenciada pelas condições ambientais. O NO_3^- produzido pode ser absorvido pelas plantas; imobilizado por microrganismos ou até mesmo perdido por lixiviação ou desnitrificação (reduzido para compostos nitrogenados gasosos) (MENDONÇA; LOURES, 1996; VIEIRA, 2017).

Já a imobilização de N consiste na transformação do N-inorgânico (NH_3 , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) do solo em uma forma de N-microbiano orgânico (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), sendo assim, o N sai da “fase mineral” e vai para a “fase orgânica” e se torna indisponível para as plantas.

Como o requerimento de N pelos microrganismos é alto, maior do que de outros nutrientes como o fósforo (P) e o enxofre (S), o material orgânico adicionado ao solo não deve ter relação C/N muito elevada, ou haverá imobilização deste nutriente. De forma geral, resíduos orgânicos com relação C/N maior que 30 ou teor de N menor que 1,2%, promovem, predominantemente, a imobilização do N. Por outro lado, resíduos com relação C/N menor que 30 (ou teor de N maior que 1,2%), levam a um aumento dos teores de N mineral no solo pois favorecem o processo de mineralização. É importante ressaltar que alguns compostos com relação C/N menor que 30 se degradam lentamente e, neste caso, o N orgânico não pode ser considerado como uma fonte prontamente disponível de N mineral para as plantas (VIEIRA, 2017).

O manejo da adubação nitrogenada nas plantas cultivadas exige maiores cuidados, devido às inúmeras reações que este elemento está submetido no solo (CANTARELLA, 2007). Por ser um nutriente dinâmico, o N está sujeito a perdas por desnitrificação, volatilização e lixiviação (VIEIRA, 2017), e para aumentar a sua eficiência agrônômica é fundamental compreender estes processos, para que sejam adotadas práticas que diminuam essas perdas.

A desnitrificação é um processo respiratório anaeróbio que acontece em quatro etapas, e resulta na redução de NO_2^- ou NO_3^- a N_2 , NO e N_2O , que são compostos nitrogenados gasosos, facilmente perdidos. A desnitrificação é realizada, normalmente, por microrganismos desnitrificantes heterotróficos (sendo a maioria anaeróbios facultativos) que usam preferencialmente o oxigênio (O_2) como receptor final de elétrons, mas também podem utilizar nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-), resultando na liberação de, principalmente, N_2O e N_2 . O N_2O é estável na atmosfera, mas instável no solo, onde é reduzido a N_2 na sequência de reações de desnitrificação. Quantidades significativas de N são perdidas anualmente por desnitrificação, variando de 5 a 30% (MENDONÇA; LOURES, 1996). Este processo ocorre quando há falta de O_2 , pois as enzimas que comandam a desnitrificação são ativas somente na ausência de O_2 , sendo mais acentuado em solos alagados; entretanto, pode ocorrer em solos em condições aeróbias, visto que mesmo nesses solos há sítios anaeróbios. A desnitrificação consome prótons e alcaliniza o solo, revertendo parte da acidez produzida durante a nitrificação (VIEIRA, 2017).

Já a volatilização é uma reação química que resulta na perda de N na forma de gases, e é bastante utilizada para descrever a perda de amônio (NH_4^+) na forma de amônia (NH_3), e ocorre em condições aeróbias e alcalinas. A volatilização da NH_3 é influenciada por diversos fatores como pH, teor de carbonato de cálcio, CTC, textura, temperatura, umidade, existência de NH_4^+ no solo, entre outros (MENDONÇA; LOURES, 1996).

Em solos com elevados valores de pH (>7) e que contenham NH_4^+ , as perdas por volatilização são maiores. A perda de N é ainda mais acentuada se fertilizantes que contenham NH_4^+ forem aplicados à superfície de solos secos e sob alta temperatura. Apesar da volatilização ser considerada uma reação química, a volatilização da ureia inclui uma reação biológica, pois depende da ação de enzimas do solo para que ocorra a formação do NH_4^+ , que, posteriormente, formará a NH_3 que será perdida por volatilização (VIEIRA, 2017; TASCA et al., 2011).

Já lixiviação refere-se, principalmente, à perda de NO_3^- e isso deve-se à sua grande mobilidade no perfil do solo. Como este elemento possui carga negativa e a maioria das cargas superficiais de solos tropicais intemperizados são também negativas, o NO_3^- fica pouco retido na CTC e, por isso, é perdido facilmente com a água percolada em solos com boa drenagem. Já o NH_4^+ , por possuir carga positiva, fica retido junto às cargas negativas (CTC) na superfície dos colóides, sendo

assim, sua movimentação no solo é muito menor que a de NO_3^- (MENDONÇA; LOURES, 1996).

Em vista disso é importante adotar técnicas de manejo de adubação nitrogenada que evitem perdas, garantindo a máxima eficiência de utilização do N pelas plantas, como: evitar adubações intensas em períodos de baixa exigência do nutriente pela cultura e priorizar sempre a aplicação de grande parte da dose do fertilizante nitrogenado em cobertura, no estágio imediatamente anterior ao de maior demanda das plantas (BAYER; FONTOURA, 2006).

Além dos processos anteriormente abordados, fatores como clima, tipo de vegetação, características químicas e físicas do solo, microrganismos e MOS também afetam a disponibilidade de N. A temperatura e a umidade são fatores determinados pelo clima que exercem grande influência sobre o teor de N do solo, pois influenciam o tipo de vegetação presente, o grau de intemperismo do solo, a atividade microbiana e, conseqüentemente, a taxa de mineralização da MOS. Algumas estimativas reportam que para cada aumento de 10 °C na temperatura do solo, ocorre uma diminuição de duas a três vezes no teor de N (MENDONÇA; LOURES, 1996). Além disso, a natureza química da MOS influencia diretamente a disponibilidade N, já que há compostos orgânicos que possuem menor taxa de degradação e, portanto, apresentam liberação mais lenta do N (VIEIRA, 2017).

O tipo de vegetação afeta o teor de MOS, já que plantas que possuem o sistema radicular mais volumoso, como as gramíneas, fornecem maior quantidade de resíduos orgânicos ao solo o que será convertido, a médio ou longo prazo, em maior teor de N. Já as propriedades químicas e físicas do solo exercem papel importante na retenção de NH_4^+ (por meio da CTC) e na maximização da atividade biológica, fundamental no ciclo do N. Neste contexto, temperaturas entre 30–35 °C, umidade próxima à capacidade de campo e aeração adequada favorecem a atividade microbiana. Além disso, a textura do solo exerce influência direta sobre os processos de perda de N. Em solos arenosos, por exemplo, as perdas por lixiviação são mais intensas e isso deve ser considerado para a planejamento da adubação (MENDONÇA; LOURES, 1996).

Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas nos últimos anos a fim de melhorar as práticas agrícolas relacionadas ao manejo de N no solo visando um melhor aproveitamento deste nutriente pelas plantas, o que melhora o sistema de cultivo como um todo, pois evita perdas desnecessárias (que comprometem o

ambiente), reduz custos de produção e aumenta o rendimento das culturas. No entanto, a grande mobilidade e instabilidade do N no solo, principalmente em regiões mais quentes, provoca diversas reações e perdas que dificultam o manejo desse nutriente (KOLCHINSKI; SCHUCH, 2002). Portanto, a adição de fertilizantes nitrogenados deve ser feita de forma criteriosa (CANTARELLA; MARCELINO, 2008).

2.3.3 Adubação Nitrogenada na Cultura do Trigo

A maioria dos solos brasileiros não supre adequadamente a demanda de N das plantas cultivadas (ERNANI, 2003), principalmente daquelas que necessitam de maior quantidade de N em um curto espaço de tempo e, por isso, a complementação desse nutriente por meio de fertilizantes é fundamental.

O N é dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pelo trigo e, normalmente, este não é suprido na quantidade e no estágio fenológico requerido (WENDLING et al., 2007; PRANDO et al., 2013). Por isso, dentre as técnicas de manejo adotadas para a cultura do trigo, a adubação nitrogenada é uma das mais importantes (SILVA et al., 2015).

A aplicação do N na dose e na fase de desenvolvimento adequada é essencial para aumentar sua eficiência de uso pelas plantas, garantindo maior rendimento e qualidade dos grãos, e, assim, reduzir possíveis perdas de N por lixiviação, volatilização e desnitrificação (COSTA; ZUCARELI; RIEDE, 2013), principalmente em regiões tropicais e subtropicais, onde esses processos ocorrem com maior frequência e intensidade, devido a precipitações pluviais mais prolongadas e intensas. Além disso, estas perdas têm efeitos negativos no meio ambiente, pois são responsáveis pela eutrofização de lagos, contaminação de lençóis freáticos, aumento dos níveis de emissão dos gases do efeito estufa, além de reduzir a rentabilidade (ANBESSA; JUSKW, 2012).

Neste contexto, é possível afirmar que o suprimento de N para as culturas não-leguminosas (com baixa associação com microrganismos fixadores de N), como o trigo, tem importância econômica, pois favorece o rendimento da cultura, e ambiental, devido a facilidade de perda deste nutriente, que pode causar contaminação dos recursos hídricos (WENDLING et al., 2007). Por isso, as recomendações de adubação nitrogenada devem considerar a eficiência de uso do nutriente pela cultura, indicando a dose apropriada para suprir a necessidade da

planta, evitando assim perdas e contaminações subsequentes, causadas, principalmente, pela aplicação de superdoses de N.

No estado do Paraná, a recomendação de adubação nitrogenada leva em consideração apenas a cultura anterior, pois os teores de palhada influenciam diretamente a quantidade e a disponibilidade do nutriente para a planta e, conseqüentemente, a dose de N a ser aplicada. Outros aspectos devem ser considerados para aumentar a eficiência da fertilização com N, como: histórico da lavoura, disponibilidade de água no solo, temperatura do ar e do solo, época de semeadura (influenciada diretamente pelas condições meteorológicas), estatura e sensibilidade das plantas ao acamamento, além da incidência de pragas e doenças (CBPTT, 2020). A recomendação da Embrapa Soja considera além da cultura anterior a produtividade esperada, a macrorregião tritícola, a altitude e também o genótipo se é de alta ou baixa resposta a adubação nitrogenada (FOLONI; BASSO; SILVA, 2016).

Nunes; Souza; Mercante (2011), avaliando o efeito do cultivo de plantas consideradas "adubos verdes", associadas a doses de N, no desempenho produtivo do trigo em sistema plantio direto, constataram que a resposta da cultura à adubação nitrogenada varia de acordo com a cultura sucessora, sendo as maiores produtividades obtidas após o cultivo de crotalária e ervilhaca, leguminosas cuja palhada tem maior teor de N (e menor relação C/N). Da mesma forma, Melero et al. (2013) relataram em seu trabalho que o cultivo de trigo em sucessão aos resíduos vegetais de culturas anteriores (guandu, crotalária e milho + crotalária) apresentou maior produtividade de grãos do que em sucessão ao pousio do solo.

A boa disponibilidade de N é essencial para garantir produtividade e qualidade dos grãos e sementes produzidos, por isso, a adubação nitrogenada é fundamental (SILVA et al., 2008; MATTUELLA et al., 2018). Os adubos nitrogenados mais utilizados em cereais são a ureia (45% de N), o sulfato de amônio (20% de N) e o nitrato de amônio (32% de N), sendo a ureia a mais utilizada na agricultura brasileira devido, principalmente, ao baixo custo (YANO; TAKAHASHI; WATANABE, 2005). A utilização de elevadas doses de N tem se tornado uma prática rotineira entre os agricultores, objetivando maximizar a produção, elevar a qualidade do grão e melhorar a eficiência produtiva da planta (PAGLIOSA et al., 2013).

Contudo, além dos fatores mencionados anteriormente, a aplicação de altas doses de fertilizantes nitrogenados pode causar o acamamento das plantas e, assim, prejudicar o rendimento, a qualidade e a colheita mecanizada dos grãos

(TEIXEIRA FILHO et al., 2010). Prando et al. (2013), estudando as características produtivas do trigo em função da aplicação de 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, verificaram que o aumento nas doses de N proporcionou acamamento de plantas, com redução da massa de mil grãos, da produtividade e do peso hectolítrico.

Nesse sentido, tem sido recomendado o parcelamento da adubação nitrogenada, de modo a disponibilizar parte do N na semeadura e parte em cobertura, já que este nutriente apresenta alta mobilidade no solo. Além disso, deve ser considerada a cultura anterior para a definição da dose do fertilizante, pois diferentes espécies têm diferentes demandas e geram palhadas de composição distinta (CRUZ et al., 2008).

Considerando o custo elevado da adubação nitrogenada e as implicações que superdoses podem causar, é importante que tal prática de manejo seja racionalizada, para tornar a atividade agrícola mais lucrativa. O avanço das técnicas de cultivo permitiu o advento de novos insumos que disponibilizam à cultura doses de N mais próximas do ideal, evitando perdas, contaminações e garantindo que a cultura manifeste todo seu potencial produtivo. Isso é muito importante, já que a indústria estabelece parâmetros de qualidade do trigo que devem ser atingidos, uma vez que, a qualidade da matéria prima é expressa no produto final. Portanto, é essencial garantir que as plantas estejam em condições nutricionais adequadas, pois plantas bem nutridas tendem a gerar grãos/sementes com teores nutricionais mais elevados e com características mais apropriadas ao mercado consumidor (MATTUELLA et al., 2018).

Teixeira Filho et al. (2010) estudando doses, fontes e épocas de aplicação de N em trigo irrigado, observaram que o aumento das doses de N até 121,5 kg ha⁻¹, em média, elevou a produtividade de grãos, independentemente da época de aplicação e da fonte de N utilizada, corroborando os resultados obtidos por Ronsani et al. (2018), de que doses até 120 kg ha⁻¹ de N promovem o melhor rendimento de trigo.

Adubações que antecedem o florescimento do trigo afetam, principalmente, a formação das estruturas vegetativas e a diferenciação de estruturas reprodutivas, definindo alguns componentes de rendimento, como espigas por m² e grãos por espiga. Já adubações que sucedem o florescimento influenciam, basicamente, o tamanho e a composição dos grãos e sementes (BARBOTTIN et al., 2005).

É importante ressaltar que a resposta do trigo à adubação nitrogenada varia em virtude do genótipo e das condições de cultivo, que incluem, principalmente, a disponibilidade hídrica (SANGOI et al., 2007). Cazetta et al. (2008), observaram em seu trabalho que, de forma geral, a adubação nitrogenada interfere de forma positiva ou negativa na atividade da α -amilase (que atua na germinação de grãos na espiga), dependendo da cultivar utilizada e da dose de N aplicada em cobertura. Costa; Zucareli; Riede (2013), também constataram diferentes respostas da cultura do trigo à adubação nitrogenada parcelada de diversas formas, em virtude do genótipo. Pagliosa et al. (2013), analisando o efeito da adubação nitrogenada e de um regulador de crescimento em cultivares de trigo cultivadas em duas safras diferentes, constataram influência significativa das condições ambientais, principalmente da disponibilidade hídrica, sobre as respostas do trigo à fertilização e à aplicação do regulador de crescimento.

Apesar do genótipo e das condições ambientais influenciarem significativamente a resposta do trigo à adubação nitrogenada, podendo ser mais ou menos responsivo, a importância do N para a cultura é um consenso entre os autores, já que a deficiência deste nutriente resulta em plantas de menor porte, com poucos perfilhos, desenvolvimento lento e baixo rendimento (MEGDA et al., 2009; CAMPONOVARA et al., 2016).

Benin et al. (2012) analisando o desempenho de cultivares de trigo em resposta a diferentes doses de N, observaram que, apesar da variabilidade de respostas entre as cultivares, a aplicação de N teve efeito positivo sobre os componentes do rendimento da cultura. Prando et al. (2012a), também observaram que, embora o genótipo tenha influenciado a intensidade das respostas à adição de N, o incremento das doses deste nutriente até 120 kg ha⁻¹ de N favoreceu a massa seca da folha bandeira, espigas por m², produtividade e o teor de N dos grãos.

Grãos de trigo maduros apresentam, em sua composição, de 8 a 20% de proteínas, incluindo o glúten, que é responsável pela funcionalidade das farinhas (FRANCESCHI et al., 2009). Para a formação desse teor proteico, é necessária uma adequada disponibilidade de N no solo, além da disponibilidade de água e outros fatores que favoreçam a absorção desse nutriente pelo trigo, pois, durante a fase de enchimento de grãos, o N acumulado pela planta é remobilizado preferencialmente para a formação de amido e, posteriormente, para elevar a concentração proteica dos grãos (KOLCHINSKI; SCHUCH, 2004; BARBOTTIN et al., 2005).

De acordo com a Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (2020) a aplicação tardia de N em cobertura, após a fase de emborrachamento, geralmente não tem efeito sobre o rendimento da cultura. Por outro lado, o N adicional pode elevar o teor de proteínas do grão.

Espindula et al. (2010), estudando a composição mineral de grãos de trigo submetidos a doses de sulfato de amônio, observaram que a adubação nitrogenada elevou a qualidade nutricional dos grãos pelo incremento da concentração de proteínas e de outros nutrientes. Altenbach et al. (2011) também verificaram aumento no teor de proteínas nos grãos de trigo, decorrente da adubação nitrogenada, realizada no período pós-antese.

Cazetta et al. (2008), trabalhando com adubação nitrogenada em genótipos de trigo, verificaram que o teor de proteína dos grãos e a força de glúten (W) aumentaram linearmente com a aumento das doses de N em todas as cultivares. Penckowski; Zagonel; Fernandes (2010), também constataram que o aumento da dose de N aumentou o W e a quantidade de glúten úmido e seco da cultivar BRS 177. Semelhantemente a estes resultados, Pinnow et al. (2013) também verificaram efeito positivo da adubação nitrogenada sobre a força de glúten e o percentual de glúten úmido e seco em grãos de trigo.

Por outro lado, Schmidt et al. (2009), em seu trabalho com genótipos de trigo brasileiros, afirmam que não foi detectada correlação significativa entre o W da farinha e o teor de proteínas dos grãos, característica afetada pela adubação nitrogenada. Do mesmo modo, Bassoi; Foloni (2012) afirmam que análises de qualidade industrial de inúmeras cultivares, provenientes de experimentos realizados em diversos anos e locais, não apontaram correlações significativas (exceto para a cultivar BRS Tangará) entre o valor de W e o teor de proteína (que, por sua vez, foi incrementada pela aplicação de N). Estes mesmos autores observaram, em experimento conduzido em Ponta Grossa (PR), que maiores doses de N, aplicadas em estádios mais tardios da cultura do trigo, proporcionaram um aumento da proteína total do grão (PTG), entretanto, este incremento não alterou o valor de W nem a classificação industrial de farinha da cultivar.

O efeito do N sobre o rendimento e a qualidade dos grãos de trigo está bem documentada na literatura, apesar da variabilidade encontrada a respeito da intensidade de resposta dos diferentes genótipos. Entretanto, não é possível afirmar que a adubação nitrogenada influencia a qualidade e a classificação industrial da

farinha de trigo, devido aos resultados discrepantes encontrados na literatura relacionados a este tema. Assim, fica evidenciada a necessidade de novos estudos a fim de descobrir se essa discrepância está relacionada ao genótipo e à sua interação com o ambiente, pois o incremento das doses de N em busca de melhorar a qualidade da farinha pode estar sendo um gasto desnecessário, que pode acarretar prejuízos econômicos e ambientais.

2.3.4 Índices de Eficiência Nutricional de N em Trigo

Segundo Anbessa; Juskiw (2012), do total de N aplicado via fertilização em cereais, menos da metade é recuperado no grão, sendo o restante imobilizado no solo, como N orgânico, ou perdido por erosão, escoamento superficial, lixiviação, volatilização, entre outros. O trigo, especificamente, tem um aproveitamento de apenas 40 a 60% do N mineral aplicado (BECHE et al., 2014). Assim, a melhoria na eficiência de uso de N (EUN) pelas plantas é fundamental para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável, principalmente para cereais que pouco se beneficiam da fixação biológica de N e, por isso, obtêm a maior parte do N do solo e dos adubos nitrogenados (ANBESSA et al., 2010; ESPINDULA et al., 2010). Nesse sentido, é essencial estabelecer a relação entre o rendimento de grãos e o N disponível no solo ou adicionado via fertilização (PÖTTKER; ROMAN, 1998).

Anbessa; Juskiw (2012) definem a EUN como a relação entre a quantidade de grãos produzidos e a quantidade de N absorvido pela planta, que inclui o N disponível no solo e o fornecido via fertilizante, isto é, a EUN refere-se à taxa de conversão do N absorvido em produção de grãos, sendo expresso em quilogramas de grãos por quilograma de N por hectare.

O processo de translocação e conversão do N absorvido em produção de grãos é complexo e, portanto, a EUN é dividida em: eficiência de absorção de N (EAN), que se refere à capacidade da planta em absorver o N disponível; e eficiência na utilização de N (EUtN), referente à capacidade da planta em usar o N absorvido para a produção de grãos. Além disso, a EUtN também é subdividida e ocorre em função da eficiência de produção de biomassa por unidade de N absorvido, e da eficiência de mobilização da matéria seca produzida na planta para a formação de grãos (BECHE et al., 2014).

Em vista disso, pode-se dizer que plantas com maior EUN são mais produtivas e mais requeridas no cenário agrícola atual, pois proporcionam menos gastos financeiros e reduzem prejuízos ambientais. Segundo Benin et al. (2012), os genótipos brasileiros de trigo apresentam comportamentos diferentes em distintas condições de disponibilidade de N, o que é um indicativo de que a seleção para a EUN desse nutriente no trigo deve ser intensificada nos programas de melhoramento genético.

Alguns estudos desenvolvidos a fim de melhorar a EAN, indicam que o parcelamento da adubação nitrogenada favorece a recuperação do N pelas plantas, o que geralmente resulta em maior produtividade em comparação com a aplicação de uma dose única de N (SANGOI et al., 2007, WAMSER; MUNDSTOCK, 2007, MEGDA et al., 2009). Entretanto, é importante ressaltar que o ambiente, o manejo e a cultivar adotada influenciam diretamente o sucesso e a proporção do parcelamento da adubação nitrogenada (ESPINDULA et al., 2010).

A variabilidade da EUN e EAN em trigo é, muitas vezes, associada à dose de N aplicada (BECHE et al., 2014). A eficiência nutricional tende a diminuir com doses crescentes do nutriente, devido ao fato de a planta não absorver todo o N aplicado. Além disso, o nutriente absorvido em excesso não será completamente convertido em produção de grãos, sendo, pois, considerado um “consumo de luxo” da planta, podendo causar toxidez nas células (ARGENTA; SILVA; BORTOLINI, 2001).

Sant’ana; Santos; Silveira (2011), avaliando os efeitos de doses crescentes de N sobre a EUN pelo feijoeiro, constataram que a EUN foi reduzida com o aumento das doses do nutriente. Da mesma forma, Todeschini et al. (2016), avaliando 12 cultivares de trigo, observaram que a EUN deriva, principalmente, da eficiência das cultivares em remobilizar o N absorvido para a produção de grãos, sendo que em condições de alta oferta de N houve tendência de redução da EUN.

Nesse sentido, definir o nível adequado do nutriente disponível no solo é essencial para o aumento da EUN nos programas de melhoramento genético (CORMIER et al., 2013). Pesquisas indicam que cultivares modernas são mais adaptadas à baixa disponibilidade de N, mesmo sendo desenvolvidas em condições com alta disponibilidade deste nutriente (GUARDA; PADOVAN; DELOGU, 2004; GÓRNY et al., 2006).

Beche et al. (2014), trabalhando com 10 cultivares brasileiras de trigo, lançadas entre 1940 e 2009, constataram que as cultivares mais modernas possuem

maior EUN e, portanto, toleram níveis mais baixos do nutriente em relação às cultivares pioneiras. Além disso, dentre as cultivares brasileiras modernas, ainda há variabilidade quanto à EUN, sendo que o ambiente, o cultivo e a interação genótipo \times ambiente também podem influenciar diretamente a EUN das cultivares (SILVA et al., 2014a; SILVA et al., 2014b; TODESCHINI et al., 2016).

2.4 DENSIDADE DE SEMEADURA E POPULAÇÃO DE PLANTAS NA CULTURA DO TRIGO

A densidade de semeadura afeta diretamente os componentes de rendimento e a produtividade do trigo, além da qualidade do produto que se deseja produzir (grão ou semente), sendo a definição da quantidade de plantas por m² dependente de diversos fatores, como o ambiente, a cultivar utilizada, o manejo empregado, além da interação entre esses fatores (FOLONI; BASSOI, 2015).

Devido às distintas capacidades de perfilhamento, os genótipos de trigo são afetados de forma diferente pela densidade de semeadura, sendo que cultivares mais perfilhadoras mantêm a produtividade mesmo com uso de baixas densidades (SILVEIRA et al. 2010, FIOREZE et al. 2012, VALÉRIO et al. 2013; TAVARES et al., 2014). Em contrapartida, cultivares com menor capacidade de perfilhamento precisam de maior densidade de semeadura para obter altos rendimentos, pois são menos eficientes em compensar a menor quantidade de sementes por m² (VALÉRIO et al., 2009). Em densidades elevadas, por outro lado, cultivares perfilhadoras apresentaram senescência dos perfilhos (VALÉRIO et al., 2008).

Altas e baixas densidades de semeadura podem acarretar maior ou menor competitividade intraespecífica (entre plantas de trigo vizinhas) e interespecífica (entre plantas de trigo e outras espécies invasoras), respectivamente, o que afeta diretamente a produção de perfilhos e outros componentes de rendimento em trigo (OZTURK; CAGLAR; BULUT, 2006). Níveis elevados de densidade podem causar estresse nas plantas ao ponto de reduzir a produtividade (ALVARENGA et al., 2009).

No entanto, é importante ressaltar que a variação da densidade de semeadura pode não afetar a produtividade de grãos do trigo em virtude da plasticidade da cultura em compensar o excesso de plantas por m² ou as falhas no estande, por meio da alteração de outros componentes de rendimento (ABATI et al.,

2017; ABATI et al., 2018). Contudo, os efeitos compensatórios dependem do genótipo, do ambiente de cultivo e do manejo da cultura, assim como da interação entre estes fatores (VALÉRIO et al., 2008).

Gross et al. (2012) avaliando o comportamento produtivo do trigo em diferentes densidades de semeadura, observaram que o aumento da densidade reduziu linearmente os componentes perfilhos por planta, espiguetas por espiga¹ e a massa de mil grãos. Entretanto, a produtividade final da cultura não foi alterada, pois o aumento da densidade proporcionou o aumento da quantidade de plantas por m² e, conseqüentemente, o aumento de espigas por m², o que promoveu um efeito compensatório. Por outro lado, Tavares et al. (2014) observaram que a densidade de semeadura exerceu efeito sobre a produtividade de grãos de trigo, inclusive proporcionando reduções, principalmente em elevadas densidades, dependendo do ano e do local de cultivo.

Nesse sentido, definir a densidade ótima para a cultivar utilizada é fundamental para evitar redução da produtividade e da qualidade do trigo produzido, em virtude de acamamento ou competição entre plantas (MARINHO et al., 2018). Fatores como: objetivo da produção (grãos para indústria, alimentação animal ou sementes), produtividade esperada, nível de investimento tecnológico, histórico da área, clima regional, entre outros, definem a densidade de plantas que a lavoura deve conter (TOURINO; REZENDE; SALVADOR, 2002).

O ajuste adequado da densidade de semeadura permite o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, como luz, água e nutrientes, resultando em maiores produtividades, isto porque, de acordo com Loomis; Amthor (1999), a obtenção de altos rendimentos está condicionada à maximização do tempo de interceptação da radiação solar pelas plantas, ao uso eficiente da energia interceptada, além da distribuição adequada dos fotoassimilados para todas estruturas da planta, o que é possível em densidades adequadas. Por outro lado, em altas densidades há maior competição entre plantas e maior custo de produção (com consumo de sementes); e em baixas densidades há um menor aproveitamento dos recursos ambientais pela cultura e maior infestação de plantas daninhas.

No estado do Paraná, as recomendações de densidade de semeadura para a cultura do trigo variam de 200 a 400 sementes viáveis por m², sendo a melhor densidade definida em função do ciclo e do porte das cultivares, além das condições de clima e de solo (CBPTT, 2020).

A utilização de menor densidade de semeadura dentro da faixa considerada ótima pode ser vantajoso, pois a produtividade obtida será pouco alterada, e haverá redução dos custos de produção, já que haverá menos gastos com sementes (TOURINO; REZENDE; SALVADOR, 2002). Além disso, as menores densidades dentro da faixa ótima favorecem a expressão de todo potencial produtivo das plantas, pois há melhor aproveitamento dos recursos e menor competitividade, o que contribui também para a formação de sementes maiores e de maior qualidade, isto é, sementes com maiores quantidades de reservas, embriões bem formados e com maior potencial fisiológico (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Alvarenga et al. (2009), estudando o efeito de densidades de semeadura no comportamento do trigo irrigado, observaram que a menor densidade avaliada (250 sementes viáveis m⁻²) resultou em maior quantidade de grãos por espiga, espiguetas férteis por m² e menor incidência de espiguetas estéreis.

2.5 COMPONENTES DE RENDIMENTO DE GRÃOS EM TRIGO

O rendimento e a qualidade de grãos de trigo são resultado de interações complexas que envolvem o manejo agrônomo, clima, pragas, doenças, fertilidade e condição física do solo, cultivar, além das operações realizadas na colheita e pós colheita, como a secagem e o armazenamento (COSTA et al., 2008).

O rendimento de grãos de trigo é definido por diversos componentes, dentre os quais destacam-se: espiguetas por espiga, grãos por espiga, grãos por espiguetas e massa de mil grãos (FIOREZE; RODRIGUES, 2014). Tais componentes dependem diretamente de fatores genéticos, das condições ambientais e das práticas culturais (BIUDES; CAMARGO, 2009).

Estresses abióticos afetam negativamente os componentes de rendimento do trigo, isto porque a produtividade está diretamente relacionada com a atividade fotossintética das folhas, que fornecerá fotoassimilados para o crescimento e enchimento dos grãos no período reprodutivo (SOUZA; GERSTEMBERGER; ARAUJO, 2013). Por isso, durante o crescimento e o desenvolvimento da cultura, a disponibilidade adequada de água é fundamental, principalmente em períodos críticos como germinação e florescimento, nos quais um déficit hídrico pode provocar redução de grãos por espiga, baixo desenvolvimento das raízes, menor perfilhamento e,

consequentemente, uma menor produtividade e qualidade de grãos (CASTRO; KLUGE; SESTARI, 2008).

Apesar de a planta de trigo apresentar plasticidade dos componentes de rendimento em respostas às variações ambientais, a produtividade e a qualidade dos grãos são influenciadas pelas condições edafoclimáticas (TAVARES et al., 2014). Santos et al. (2012) estudando a resposta de genótipos de trigo submetidos a déficit hídrico no início do florescimento em comparação a um regime hídrico adequado, observaram redução em algumas variáveis biométricas nas plantas submetidas ao déficit hídrico, incluindo altura, área foliar, perfilhos por planta e grãos por espiga, entre outros, resultando na redução da produtividade e da massa de mil grãos. Contudo, estes mesmos autores constataram que a quantidade de espigas por m² não foi alterada com os regimes hídricos, o que comprova certa plasticidade do trigo em relação a alguns de seus componentes de rendimento.

A produtividade e a qualidade do trigo também são influenciadas pelo genótipo (cultivar), pela quantidade de insumos aplicados e pelo manejo agrônomico empregado (ZAGONEL et al., 2002). Trabalhos científicos comprovam que a adubação nitrogenada exerce influência positiva sobre a produtividade (BRAZ et al., 2006) e o teor proteico dos grãos de trigo (CAZETTA et al., 2008), pois a aplicação de N na dose e no momento adequado pode aumentar a quantidade de espigas por m² e de grãos por espiga (BRAZ et al., 2006), além de elevar a qualidade do trigo produzido (PENCKOWSKI; ZAGONEL; FERNANDES, 2010).

Camponogara et al. (2016), avaliando o efeito da aplicação de N nos componentes de rendimento e na produtividade do trigo, observaram que a aplicação do nutriente favoreceu os componentes de rendimento e a produtividade do trigo quando comparada com a testemunha (sem adubação nitrogenada). Entretanto, esses autores ressaltam que a magnitude deste favorecimento depende da fonte de N e do objetivo da produção (grãos ou sementes).

Além da adubação nitrogenada, a densidade de semeadura é uma das técnicas de manejo que mais influencia o rendimento de grãos de trigo, isto porque a densidade, aliada ao genótipo, afeta diretamente a produção de perfilhos por planta e, consequentemente, a produção de espigas por m², que associado à quantidade de grãos por espiga e à massa de mil grãos, definem a produtividade do trigo (GONDIM et al., 2008; VIOLA, 2011).

Contudo, é importante ressaltar que a influência da população de plantas no rendimento do trigo varia em função da cultivar e do ambiente de cultivo (BARBIERI et al., 2013; TAVARES et al., 2014; LIU et al., 2017). Valério et al. (2009) constataram que a emissão de uma maior quantidade de perfilhos por m² em baixas densidades de semeadura não compensa totalmente o maior rendimento de grãos obtido em maiores densidades de semeadura, pois a quantidade de espigas por m² é maior em populações elevadas, o que se reflete em maior produtividade. Por outro lado, Fioreze; Rodrigues (2014), avaliando a produtividade do trigo em resposta à densidade de semeadura e à aplicação de reguladores vegetais, observaram que o aumento de plantas por m² reduziu a quantidade de espiguetas férteis por espiga, grãos por espiga e massa dos grãos por espiga, o que resultou em um decréscimo da produtividade.

Portanto, a implementação de um manejo intensivo na cultura do trigo, que inclua a adoção de práticas adequadas de adubação e densidade de semeadura, permite maximizar o rendimento e a qualidade das sementes ou dos grãos produzidos, além de elevar a qualidade dos produtos derivados do trigo, como a farinha.

2.6 QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE TRIGO

Para culturas de importância econômica, a semente apresenta dupla função: é utilizada pelos agricultores para a semeadura da cultura e produção de grãos; e colhida para comercialização pelos "sementeiros". Sendo assim, as denominações "semente" e "grãos" referem-se apenas à identificação das formas de utilização, pois, sob o ponto de vista botânico, não há distinção entre os termos. No entanto, os atributos de qualidade de sementes ou de grãos são diferentes, sendo influenciadas pelo local de instalação da lavoura, manejo da cultura, processos de pós-colheita e armazenagem, os quais devem ser adequados à finalidade de utilização do produto final, uma vez que, sementes devem apresentar características específicas e requisitos mínimos de germinação e pureza genética para que possam ser comercializadas, além de outras particularidades não exigidas para comercialização de grãos (MARCOS FILHO, 2015).

A qualidade das sementes pode ser definida como um conjunto de características que incluem atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários, que determinam o potencial de desempenho das mesmas, já que afetam a capacidade de

realizarem funções vitais (POPINIGIS, 1985). França Neto; Krzyzanowski; Henning (2010), acrescentam que estes atributos são determinantes na garantia de elevado desempenho agrônômico e, conseqüentemente, no sucesso da lavoura.

Para ser considerada de alta qualidade, a semente deve apresentar características que incluem: i) pureza varietal (sementes de cultivares obtidas por meio de melhoramento devem ter suas características genéticas mantidas no decorrer dos processos de multiplicação); ii) pureza física (o lote não deve conter sementes de ervas daninhas, de outras espécies cultivadas ou substâncias inertes, além de sementes quebradas, ou com qualquer outro dano físico); iii) bom desempenho fisiológico (altas taxas de vigor e germinação); iv) alta taxa de sanidade (livre de pragas e doenças) (FRANÇA NETO; KRZYZANOWSKI; HENNING, 2010; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Segundo Marcos Filho (2015), esses quatro atributos da qualidade das sementes apresentam importância equivalente, porém o potencial fisiológico geralmente atrai maior atenção, seja da pesquisa ou do produtor rural, pois influencia diretamente o estabelecimento do estande que representa a primeira oportunidade de avaliar o desempenho das sementes adquiridas e o grau de sucesso dos procedimentos adotados para a semeadura.

A produção de sementes de qualidade é influenciada por diversos fatores, como clima, cultivar, época de semeadura, condições do solo e manejo adotado (KOLCHINSKI; SCHUCH, 2003b). Além disso, Sá (1994) destaca que a disponibilidade de nutrientes também interfere diretamente na quantidade e na qualidade das sementes produzidas, pois influencia sua composição química, a formação do embrião e dos tecidos de reservas, interferindo diretamente em seu potencial fisiológico, sendo que plantas bem nutridas produzem sementes de melhor qualidade e em maior quantidade.

Dentre os nutrientes de maior importância para a formação de sementes de qualidade destaca-se o N, pois ele é constituinte de biomoléculas essenciais e participa de reações metabólicas fundamentais para o crescimento e desenvolvimento vegetal (KOLCHINSKI; SCHUCH, 2004). Além disso, estudos indicam que o conteúdo de N absorvido pela planta durante seu ciclo tem correlação positiva com o teor de proteína e a qualidade fisiológica das sementes produzidas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Portanto, a adubação nitrogenada pode incrementar nas sementes o conteúdo de proteínas essenciais para o estabelecimento inicial da plântula, pois são hidrolisadas durante a germinação a fim de suprir a

demanda nutricional do embrião e, posteriormente, da plântula durante as fases iniciais de desenvolvimento (PRADO, 2004).

Ressalta-se que a influência da adubação nitrogenada na qualidade fisiológica da semente varia com o genótipo, ambiente e momento de aplicação do fertilizante (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS FILHO, 2015). Prado et al. (2012b) trabalhando com adubação nitrogenada em genótipos trigo, constataram que o potencial fisiológico de sementes produzidas variou em função, principalmente, dos genótipos utilizados. Bazzo et al. (2018), estudando os efeitos da adubação nitrogenada na produção de sementes de aveia branca, verificaram que as doses de N aplicadas em cobertura influenciaram significativamente a qualidade fisiológica das sementes produzidas

Além disso, as condições meteorológicas durante o período de formação das sementes também afetam seu potencial fisiológico (COSTA et al., 2005). De acordo com Motta et al. (2002) a qualidade fisiológica das sementes é influenciada pelas épocas e locais de cultivo, pois a precipitação, umidade relativa do ar, fotoperíodo e temperatura mudam com a estação do ano e com as regiões de cultivo. Estresses ambientais durante o período de formação das sementes podem reduzir substancialmente a qualidade destas.

A ocorrência de temperatura elevadas, acima de 30 °C, durante a formação das sementes constitui um dos estresses mais prejudiciais à produção e à qualidade das mesmas, pois reduzem a taxa fotossintética das plantas, que é muito importante, principalmente após o florescimento (MARCOS FILHO, 2015). Além disso, altas temperaturas durante a maturação podem reduzir a translocação de fotoassimilados para as sementes, principalmente se coincidir com períodos de déficit hídrico, o que promove a maturação antecipada, sendo formadas sementes de baixo vigor (FRANÇA NETO et al., 1993). Da mesma forma, temperaturas baixas durante a formação das sementes são prejudiciais, sendo as geadas extremamente nocivas à qualidade das mesmas, já que paralisa o crescimento e resulta em sementes enrugadas e de baixo peso (LEONARD; MARTINELLI, 2005).

O déficit hídrico é outro estresse ambiental que afeta o metabolismo e prejudica o crescimento e desenvolvimento da planta. A área foliar e a taxa fotossintética são reduzidas com a falta de água, o que afeta o suprimento de fotoassimilados, podendo causar abortamento ou redução do desenvolvimento das sementes (BRADFORD, 1994). Do mesmo modo, o excesso hídrico na pré-colheita

pode prejudicar a qualidade fisiológica das sementes, pois acelera o metabolismo, intensifica a respiração (que consome reservas acumuladas), favorece a incidência de microrganismos patogênicos, e facilita a germinação na espiga, principalmente em trigo, comprometendo o potencial fisiológico das sementes (MARCOS FILHO, 2015).

A densidade de semeadura é outro fator que influencia a produtividade e a qualidade de sementes em trigo (GONDIM et al., 2008; VIOLA, 2011). Isto porque, a população de plantas influencia o perfilhamento e a competição intraespecífica e interespecífica (OZTURK; CAGLAR; BULUT, 2006). Em maiores densidades de semeadura, geralmente, há maior quantidade de espigas por m², decorrente da maior quantidade de plantas por m², já que a taxa de perfilhamento diminui e, há maior competição intraespecífica, o que pode afetar o enchimento das sementes e, por isso, maiores doses de fertilizantes serão necessárias. Já em densidades menores, a taxa de perfilhamento é maior, contudo, os perfilhos precisam ser férteis e ter a mesma taxa de desenvolvimento do colmo principal para compensar a produtividade de altas densidades (MARZARI et al., 2007).

Weiner; Griepentrog; Kristensen (2001), observaram que a densidade de semeadura afeta a massa da semente de trigo, sendo que maior adensamento de plantas resulta em sementes mais leves. Em contrapartida, Barbieri et al. (2013) constataram que reduções controladas de 20, 40 e 60% em relação à população recomendada de 350 plantas m⁻² afetaram negativamente o potencial fisiológico das sementes produzidas de trigo, devido à maior emissão de perfilhos que resultou em maior competitividade.

Nesse sentido é fundamental o ajuste adequado da densidade de semeadura em função da cultivar utilizada, do ambiente de cultivo e do manejo empregado (FOLONI; BASSOI, 2015), porque o bom estabelecimento da população de plantas reduz o acamamento e as competições intra e interespecíficas, que reduzem a quantidade e a qualidade das sementes produzidas, tanto pelo contato com o solo (no caso do acamamento) quanto pela criação de um microclima favorável ao desenvolvimento de doenças (MARINHO et al., 2018).

2.7 QUALIDADE TECNOLÓGICA DE GRÃOS DE TRIGO

A qualidade do grão de trigo é resultado das condições de cultivo, que incluem as condições de solo, clima, pragas, práticas de manejo da cultura (como a

adubação e a cultivar) e as operações de colheita, secagem e armazenamento, influenciando diretamente a qualidade industrial da farinha produzida (COSTA et al., 2008).

Garantir o adequado crescimento e desenvolvimento da planta, por meio do fornecimento de nutrientes essenciais (como o N), é fundamental para a obtenção de grãos e de farinha de qualidade (TEIXEIRA FILHO et al., 2010). Além disso, plantas bem nutridas formam grãos de maior qualidade, com elevados teores nutricionais, adequados ao mercado consumidor e, principalmente, à indústria, que exige altos parâmetros de qualidade de trigo para a produção de farinha, dentro outros produtos (MATTUELLA et al., 2018). Nesse sentido, conhecer os métodos de análise físico-químicas que determinam a qualidade industrial dos grãos e de farinha de trigo, a fim de compreender os fatores que os afetam, positiva ou negativamente, é fundamental.

2.7.1 Análises Físico-Químicas de Grãos e Reológicas de Farinha de Trigo

As cultivares de trigo apresentam características específicas que as distinguem umas das outras, como altura das plantas, produtividade, resistência a pragas, doenças e a outras adversidades, composição do endosperma, teor de proteínas na farinha e qualidade da proteína. A interação entre essas características e os fatores ambientais repercute nas propriedades funcionais e na qualidade da farinha, já que influencia a moagem e o processamento do grão e da farinha de trigo (CARCEA et al., 2006). Portanto, a qualidade da matéria-prima utilizada na fabricação da farinha de trigo influencia diretamente suas características finais (COSTA et al., 2008).

A farinha de trigo para ser adequada à panificação deve apresentar alta capacidade de absorção de água, boa tolerância ao amassamento, glúten de força média a forte e alto conteúdo de proteína, dentre outras características (CAZETTA et al., 2008; MÓDENES; SILVA; TRIGUEROS, 2009) que são avaliadas por meio de vários testes físico-químicos e reológicos, realizados em laboratórios especializados (MILOCA et al., 2007).

A massa de mil grãos (MMG) é uma das análises utilizadas para classificar o trigo usado como matéria prima, pois grãos muito grandes ou muito pequenos (fora dos padrões de uniformidade estabelecidos) são descartados pela

indústria, pois provocam perdas, devido à dificuldade em regular os equipamentos de limpeza e moagem, o que reduz a quantidade de trigo moído (SCHEUER et al., 2011).

O peso hectolítrico (PH) é outra análise importante, que se refere à massa de cem litros de trigo expressa em quilograma, muito utilizada na classificação e comercialização do trigo, pois expressa, indiretamente, atributos de qualidade dos grãos. Várias características influenciam a determinação do PH, como a uniformidade, forma, densidade e tamanho do grão, além das características extrínsecas, como a presença e o teor de matérias estranhas, que inclui os grãos quebrados da amostra (NUNES et al., 2011).

A dureza, umidade, teor de cinzas e a cor do grão são atributos físicos que também definem a qualidade industrial do trigo, pois são características que influenciam a moagem e a aparência final da farinha. A moagem experimental é uma avaliação utilizada para analisar o rendimento da farinha e a dureza dos grãos utilizados como matéria prima (GUTKOSKI et al., 2007).

Com base nas avaliações de umidade, PH, impurezas e danos, os grãos destinados à moagem são classificados por tipo, de 1 a 3, sendo os do tipo 1 os de maior qualidade industrial (BRASIL, 2010).

Devido à grande variabilidade de farinhas de trigo, outras avaliações são necessárias, além das análises realizadas na matéria-prima, a fim de definir as características e a qualidade do produto final. Os métodos mais utilizados para a avaliação da farinha estão relacionados às características reológicas da massa (GUTKOSKI et al., 2007). O número de queda (ou *falling number* – FN) é uma das avaliações realizadas na farinha e estima, basicamente, a intensidade de atividade da enzima α -amilase no grão. Esta análise baseia-se na rápida gelatinização de uma suspensão de farinha e água e na medida de degradação do amido por ação da amilase, sendo o resultado expresso em segundos. Valores elevados indicam baixa atividade da enzima e valores mais baixos indicam alta atividade, o que sugere danos causados pela germinação de grãos na espiga (MÓDENES; SILVA; TRIGUEROS, 2009).

A avaliação do teor de glúten (glúten seco ou úmido) constitui outra análise muito importante para a definição das características físicas e reológicas de plasticidade, viscosidade e elasticidade da massa (COSTA et al., 2008). O método dessa avaliação inclui a produção de uma massa com farinha e água, que é lavada a fim de remover o amido e outros constituintes hidrossolúveis, restando apenas o

glúten úmido (avaliado através de pesagem), que posteriormente é secado, obtendo-se então o glúten seco (novamente avaliado por pesagem). Essa avaliação permite a determinação da quantidade de glúten (formado pelas proteínas gliadina e glutenina) na farinha, o que influencia diretamente as características dos produtos industriais, como textura, forma e expansão (SCHEUER et al., 2011).

A farinografia analisa a capacidade de absorção de água pela farinha, o que é importante para a determinação da plasticidade, tempo de desenvolvimento e estabilidade da massa, o que define a aplicação tecnológica da farinha (GUTKOSKI et al., 2007).

A alveografia, teste que simula o comportamento da massa na fermentação, determina diversas características viscoelásticas da farinha como a força de glúten (W), que se refere à energia necessária para deformação da massa e define a aplicação da farinha; a tenacidade (P) que mede a pressão máxima exercida para a ruptura; e a extensibilidade (L) que representa a capacidade de expansão da massa. Além disso, este teste também permite definir a relação P/L, que corresponde ao equilíbrio da massa, sendo que valores de P/L entre 0,50 e 1,20 são característicos de farinhas balanceadas, utilizadas na fabricação de pães; já a farinha tenaz, utilizada na produção de massas alimentícias secas, possui altos valores de P/L (acima de 1,21) (MÓDENES; SILVA; TRIGUEROS, 2009; SCHEUER et al., 2011).

Essas avaliações são importantes para a definição da qualidade e da aplicabilidade da farinha produzida. Nesse sentido, as cultivares de trigo destinadas à moagem são classificadas em cinco classes, de acordo com valores de FN, estabilidade da massa e W: i) Melhorador; ii) Pão; iii) Doméstico; iv) Básico; v) Outros usos (BRASIL, 2010).

2.7.2 Qualidade Industrial de Grãos e de Farinha de Trigo para Massas, Biscoitos e Panificação

O trigo está presente diariamente na dieta humana, pois é matéria prima para a elaboração de alimentos consumidos no mundo todo. Os derivados imediatos se resumem, basicamente, nas farinhas branca e integral, amplamente utilizadas na indústria para a fabricação de pães, biscoitos, bolos e massas, alimentos com proteínas de alto valor biológico e carboidratos complexos, cujo consumo é incentivado, pois constituem a base da pirâmide alimentar (SCHEUER et al., 2011).

Além da produtividade, o trigo destinado à indústria também deve apresentar qualidade tecnológica, de forma a reduzir e, até mesmo, evitar o uso de aditivos, devido ao custo e à segurança alimentar. As características que afetam a qualidade tecnológica dos grãos de trigo são definidas, principalmente, pelo teor de proteína e suas variações qualitativas (composição proteica dos grãos) e quantitativas (quantidade de cada proteína, principalmente as frações proteicas que compõem o glúten: as gliadinas e as gluteninas) (FRANCESCHI et al., 2009).

Segundo Guarienti (1996), as variações quali e quantitativas das proteínas estão relacionadas ao genótipo, ao ambiente de cultivo e à interação genótipo x ambiente. No entanto, na cultura do trigo, as variações de qualidade em função do ambiente superam, frequentemente, as vinculadas ao genótipo. Dentre os fatores ambientais que promovem alterações na qualidade tecnológica e no teor proteico dos grãos, destacam-se o tipo de solo e os níveis de adubação, principalmente com N. Além disso, fatores meteorológicos como temperatura, precipitação pluvial e radiação solar também exercem influência sobre a qualidade tecnológica dos grãos, pois afetam o crescimento, o desenvolvimento e a adaptação da planta. Nesse contexto, o emprego de técnicas de manejo que reduzam riscos, como a escolha da cultivar, época e densidade de semeadura adequadas, manejo de água e fertilização, é fundamental a fim de diminuir o impacto das flutuações meteorológicas (FRANCESCHI et al., 2009).

De acordo com Mota (1989), um dos principais problemas enfrentados pelos tricultores no Brasil é a chuva na colheita, principalmente na região sul. A absorção de água pelo grão formado (após sua maturidade fisiológica) promove a ativação de enzimas que degradam o amido, como a α -amilase, facilitando o processo de germinação que, em estágio mais avançado, pode ser observado por meio da emissão da raiz primária da plântula. Isso reduz a qualidade da farinha, pois grãos germinados têm sua composição química modificada, já que as enzimas ativadas promovem alterações no amido e nas proteínas (LINHARES; NEDEL, 1989). Além disso, as ocorrências de chuvas frequentes na fase final de enchimento de grãos intensificam o aparecimento de doenças e favorecem o acamamento das plantas, reduzindo a produtividade e a qualidade do grão (FRANCESCHI et al., 2009).

Boschini et al. (2011), trabalhando com doses de N e diferentes lâminas de água em trigo, constataram que os aspectos quanti e qualitativos do grão foram influenciados pela dose de N, pela quantidade de água ou pela interação entre

estes fatores, comprovando a influência do manejo sobre a produtividade e qualidade final do trigo.

Cazetta et al. (2008), avaliando a qualidade industrial de cultivares de trigo submetidas à adubação nitrogenada, verificaram que a aplicação de N incrementou o W e o teor de proteína da farinha; além disso, reduziu a relação tenacidade (P)/extensibilidade (L), influenciando positivamente a qualidade da farinha para panificação. Por sua vez, Penckowski; Zagonel; Fernandes (2010), constataram que a adubação nitrogenada influenciou a qualidade industrial dos grãos de trigo, contudo, os autores ressaltam que a resposta depende da dose de N aplicada.

Garrido-Lestache; López-Bellido; López-Bellido (2004), estudando os efeitos da oferta de N no rendimento e na qualidade industrial de trigo, observaram que as respostas da cultura variaram intensamente em virtude dos fatores meteorológicos (que mudaram de safra para safra), contudo, esses autores relataram que adubações nas doses de 100 e 150 kg ha⁻¹ de N proporcionaram os valores máximos para rendimento de grãos e conteúdo de proteína nos grãos, respectivamente. Isso comprova a necessidade de calibração da adubação nitrogenada para cada cultivar, incluindo sua interação com o ambiente (DUPONT; ALTENBACH, 2003).

Al-Eid (2006), avaliando a adubação nitrogenada com e sem esterco, em trigo cultivado em solos arenosos, verificou que a aplicação de 60 t ha⁻¹ do produto orgânico junto com 200 kg ha⁻¹ de N melhorou as propriedades tecnológicas da farinha (conteúdo de proteínas, estabilidade e viscosidade) em comparação com o trigo cultivado apenas com fertilizante nitrogenado. Segundo o autor, isso pode estar relacionado a outros benefícios (além da liberação de nutrientes), pois o esterco é uma boa fonte de matéria orgânica e reduz perdas excessivas do N aplicado. Isso evidencia a importância da estruturação do solo, dentro do sistema de cultivo, para a produção de trigo com alta qualidade industrial.

Além dos fatores relacionados ao cultivo do trigo, Costa et al. (2008) destacam que as operações de colheita, secagem e armazenamento também influenciam diretamente a qualidade industrial dos grãos de trigo utilizados como matéria-prima. Deliberali et al. (2010) estudando a influência dos processos de secagem estacionário e intermitente e do tempo de armazenamento na qualidade tecnológica de grãos de trigo, constataram melhor qualidade tecnológica dos grãos submetidos a secagem em secador intermitente, principalmente quando o trigo é

colhido antecipadamente (com maior teor de água) e posteriormente passa pela secagem. Por outro lado, quando colhidos muito secos, os grãos apresentam menor conservação durante o armazenamento, o que evidencia a influência das operações de colheita e pós colheita na qualidade final dos grãos.

Sendo assim, fica evidente que a definição e a adoção de técnicas de cultivo adequadas ao genótipo e ao ambiente são fundamentais para o bom desempenho da lavoura de trigo, que inclui a produção de grãos bem formados e uniformes, atendendo as exigências da indústria.

2.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABATI, J.; BRZEZINSKI, C.R.; FOLONI, J.S.S.; ZUCARELI, C.; BASSOI, M.C.; HENNING, F.A. Seedling emergence and yield performance of wheat cultivars depending on seed vigor and sowing density. **Journal of Seed Science**, v. 39, n. 1, p. 58-65, 2017.
- ABATI, J.; BRZEZINSKI, C.R.; ZUCARELI, C.; FOLONI, J.S.S.; HENNING, F.A. Growth and yield of wheat in response to seed vigor and sowing densities. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 4, p. 891-899, 2018
- ALBERTO, C.M.; STRECK, N.A.; WALTER, L.C.; ROSA, H.T.; BRACKMANN, A.; OLIVEIRA, F.B.; ZANON, A.J.; FAGUNDES, L.K. Resposta à vernalização de cultivares brasileiras de trigo. **Bragantia**, v. 68, n. 2, p. 535-543, 2009.
- AL-EID, S.M. Effect of nitrogen and manure fertilizer on grain quality, baking and rheological properties of wheat grown in sandy soil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 2, p. 205-211, 2006.
- ALTENBACH, S.B.; TANAKA, C.K.; HURKMAN, W.J.; WHITEHAND, L.C.; VENSEL, W.H.; DUPONT, F.M. Differential effects of a post-anthesis fertilizer regimen on the wheat flour proteome determined by quantitative 2-DE. **Proteome Science**, v. 9, n. 46, p. 1-13, 2011.
- ALVARENGA, C.B.; SOBRINHO, J.S.; BUENO, M.R.; GONÇALVES, M.V. Avaliação de quatro densidades de semeadura e duas doses de nitrogênio no comportamento do trigo irrigado sob bioma cerrado em sistema de semeadura direta no município de perdizes Minas Gerais. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 5, p. 15-20, 2009.
- ANBESSA, Y.; JUSKIW, P.; GOOD, A.; NYACHIRO, J.; HELM, J. Selection efficiency across environments in improvement of barley yield for moderately low nitrogen environments. **Crop Science**, v. 50, n. 2, p. 451-457, 2010.
- ANBESSA, Y.; JUSKIW, P. Review: Strategies to increase nitrogen use efficiency of spring barley. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 92, n. 4, p. 617-625, 2012.
- ANDRADE, A.C.; FONSECA, D.M.; QUEIROZ, D.S.; SALGADO, L.T.; CECON, P.R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum*

Schum. cv. Napier). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, número especial, p. 1643-1651, 2003.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 715-722, 2001.

BARBIERI, A.P.P.; MARTIN, T.N.; MERTZ, L.M.; NUNES, U.R.; CONCEIÇÃO, G.M. Redução populacional de trigo no rendimento e na qualidade fisiológica das sementes. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 4, p. 724-731, 2013.

BARBIERI, R.L.; STUMPF, E.R.T. **Origem e evolução de plantas cultivadas**. 1ª Ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 909 p.

BARBOTTIN, A.; LECOMTE, C.; BOUCHARD, C.; JEUFFROY, M.H. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: genotypic and environmental effects. **Crop Science**, v. 45, n. 3, p. 1141-1150, 2005.

BASSOI, M.C.; FOLONI, J.S.S. Adubação nitrogenada no trigo visando a qualidade industrial. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 6., 2012, Londrina. **Anais...** Londrina, PR: IAPAR, 2012. 5 p.

BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. Dinâmica do nitrogênio no solo, pré culturas e o manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho em plantio direto. In: FONTOURA, S.M.V.; BAYER C. **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava, PR: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária; 2006.

BAZZO, J.H.B.; RIEDE, C.R.; ARRUDA, K.M.A.; BARBOSA, A.P.; FONSECA, I.C.B.; ZUCARELI, C. Trinexapac-ethyl and topdressing nitrogen levels on the productivity and physiological quality of graniferous white oat seeds. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 3, p. 263-271, 2018.

BECHE, E.; BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; DALLÓ, S.C.; SASSI, L.H.S.; OLIVEIRA, R. Eficiência de uso de nitrogênio em cultivares de trigo pioneiras e modernas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 948-957, 2014.

BENETT, C.G.S.; BUZETTI, S.; SILVA, K.S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; ANDREOTTI, M.; ARF, O. Aplicação foliar e em cobertura de nitrogênio na cultura do trigo no cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 3, p. 829-838, 2011.

BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; BECHE, E.; PAGLIOSA, E.S.; SILVA, C.L.; PINNOW, C. Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, n. 3, p. 275-283, 2012.

BITTAR, I.M.B.; FERREIRA, A.S.; CORRÊA, G.F. Influência da textura do solo na atividade microbiana, decomposição e mineralização do carbono de serapilheira do bioma cerrado sob condições de incubação. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1952-1960, 2013.

BIUDES, G.B.; CAMARGO, C.E.O. Genótipos de trigo: características agrônômicas em dois locais do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 873-884, 2009.

BORNHOFEN, E. **Avaliação dos efeitos genéticos e ambientais na evolução do rendimento de grãos, qualidade de panificação e estabilidade de trigo.**

Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 90 p., 2015.

BOSCHINI, A.P.M.; SILVA, C.L.; OLIVEIRA, C.A.S.; OLIVEIRA JÚNIOR, M.P.; MIRANDA, M.Z.; FAGIOLI, M. Aspectos quantitativos e qualitativos do grão de trigo influenciados por nitrogênio e lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 450-457, 2011.

BRADFORD, K. Water stress and the water relations of seed development: A critical review. **Crop Science**, v. 34, n. 1, p. 1-11, 1994.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. Regulamento técnico do trigo. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 29, p. 2, 1 dez. 2010. Seção 1.

BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M.; KLIEMANN, H. J.; ZIMMERMANN, F. J. P. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em sistema plantio direto após diferentes culturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2006.

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

CAIERÃO, E.; SCHEEREN, P.L.; SILVA, M.S.; CASTRO, R.L. History of wheat cultivars released by Embrapa in forty years of research. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, n. 4, p. 216-223, 2014.

CAMPONOGARA, A.S.; OLIVEIRA, G.A.; GEORGIN, J.; ROSA, A.L.D. Avaliação dos componentes de rendimento do trigo quando submetido a diferentes fontes de nitrogênio. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 524-532, 2016.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. In: FANCELLI, A. L. **Milho: nutrição e adubação**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP/LPV, 2008. p. 6-55.

CARCEA, M.; SALVATORELLI, S.; TURFANI, V.; MELLARA, F. Influence of growing conditions on the technological performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, n. 2, p. 102-107, 2006.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2012.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; SESTARI, I. **Manual de fisiologia vegetal: Fisiologia de Cultivos**. São Paulo, SP: Ceres, 2008.

CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D.; ARF, O.; GERMANI, R. Qualidade industrial de cultivares de trigo e triticale submetidos à adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 741-750, 2008.

CBPTT - COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE. **Informações técnicas para trigo e triticale: safra 2020**. Passo Fundo, RS: Biotrigo Genética, 2020. 255 p.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2017. **A cultura do trigo**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, 2017. 218 p.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2019. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2019/20**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, v. 7, n. 3, 2019. 101 p.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2020. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2019/20**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, v. 7, n. 11, 2020. 62 p.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2021. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2020/21**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, v. 8, n. 7, 2021. 116 p.

CORMIER, F.; FAURE, S.; DUBREUIL, P.; HEUMEZ, E.; BEAUCHÊNE, K.; LAFARGE, S.; PRAUD, A.; LE GOUIS, J. A multi-environmental study of recent breeding progress on nitrogen use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 126, n. 12, p. 3035-3048, 2013.

COSTA, N.P.; MESQUITA, C.M.; MAURINA, A.C.; FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; OLIVEIRA, M.C.N.; HENNING A.A. Perfil dos aspectos físicos, fisiológicos e químicos de sementes de soja produzidas em seis regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 2, p. 01-06, 2005.

COSTA, M.G.; SOUZA, E.L.; STAMFORD, T.L.M.; ANDRADE, S.A.C. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 220-225, 2008.

COSTA, L.; ZUCARELI, C.; RIEDE, C.R. Parcelamento da adubação nitrogenada no desempenho produtivo de genótipos de trigo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 215-224, 2013.

CRUZ, S.C.S.; PEREIRA, F.R.S.; SANTOS, J.R.; ALBUQUERQUE, A.W.; SILVA, E.T. Parcelamento da adubação nitrogenada na cultura do milho irrigado em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 370-375, 2008.

CUNHA, G.R.; SCHEEREN, P.L.; PIRES, J.L.F.; MALUF, J.R.T.; PASINATO, A.; CAIERÃO, E.; SÓ E SILVA, M.; DOTTO, S.R.; CAMPOS, L.A.C.; FELÍCIO, J.C.; CASTRO, R. L.; MARCHIORO, V.; RIEDE, C.R.; ROSA FILHO, O.; TONON, V.D.; SVOBODA, L.H. **Regiões de adaptação para trigo no Brasil**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2006. 10 p.

Disponível:<http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p_ci20.pdf> Acesso em 13 de Junho de 2021.

CUNHA, G.R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M.B.M.; HAAS, J.C.; MALUF, J.R.T.; PIRES, J.L.F.; DALMAGO, G.A.; SANTI, A. Regiões para trigo no Brasil: ensaios de VCU, zoneamento agrícola e época de semeadura. In: PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G.R. (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011. p. 27-40.

DELIBERALI, J.; OLIVEIRA, M.; DURIGON, A.; DIAS, A.R.G.; GUTKOSKI, L.C.; ELIAS, M.C. Efeitos de processo de secagem e tempo de armazenamento na qualidade tecnológica de trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 5, p. 1285-1292, 2010.

DUPONT, F.M.; ALTENBACH, S.B. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. **Journal of Cereal Science**, v. 38, N. 2, p. 133-146, 2003.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: EMBRAPA - DF, 2016. 309 p.

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

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

FERNANDES, M.F.; PROCÓPIO, S.O.; TELES, D.A.; SENA FILHO, J.G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; ANDRADE, C.R. Crescimento e fixação biológica de nitrogênio de *Gluconacetobacter diazotrophicus* na presença de inseticidas utilizados na cultura da cana de açúcar. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 1, p. 12-18, 2013.

FIOREZE, S.L.; CASTOLDI, G.; PIVETTA, L.A.; PIVETTA, L.G.; FERNANDES, D.M.; BÜLL, L.T. Tillering of two wheat genotypes as affected by phosphorus levels. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 34, n. 3, p. 331-338, 2012.

FIOREZE, S.L.; RODRIGUES, J.D. Componentes produtivos do trigo afetados pela densidade de semeadura e aplicação de regulador vegetal. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 39-54, 2014.

FOLONI, J.S.S.; BASSOI, M.C. **Indicações fitotécnicas para cultivares BRS de trigo no Paraná**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2015. (Circular Técnica; 110).

FOLONI, J.S.S.; BASSOI, M.C.; SILVA, S.R. **Indicações fitotécnicas para cultivares de trigo da Embrapa no Paraná**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2016. (Circular Técnica; 117).

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do trigo**. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2008, 338 p.

FOWLER, D. B.; LIMIN, A. E.; RITCHIE, J. T. Low-temperature tolerance in cereals: model and genetic interpretation. **Crop Science**, v. 39, n. 3. p. 626-633, 1999.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYŻANOWKI, F.C.; HENNING, A.A.; WEST, S.H.; MIRANDA, L.C. Soybean seed quality as affected by shriveling due to heat and drought stresses during seed filling. **Seed Science and technology**, v. 21, n. 1, p. 107-116, 1993.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYŻANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. A importância do uso de semente de soja de alta qualidade. **Informativo ABRATES**, v. 20, n. 1,2 p. 037-038, 2010.

FRANCESCHI, L.; BENIN, G.; GUARIENTI, E.; MARCHIORO, 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.

FRANCESCHI, L.; BENIN, G.; MARCHIORO, V.S.; MARTIN, T.N.; SILVA, R.R.; SILVA, C.L. Métodos para análise de adaptabilidade e estabilidade em cultivares de trigo no Estado do Paraná. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 797-806, 2010.

FREITAS, E.; SOUZA, C.; SILVA, M.A. Ecofisiologia tritícola. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 03, n. 01, p. 171-187, 2013.

GARCÍA, R. **Crecimiento y desarrollo de la planta de trigo: comparacion dedos escalas descriptivas**. Pergamino: INTA, 1991. 6 p. (INTA. Informacion, 128).

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.

GONDIM, T.C.O.; ROCHA, V.S.; SEDIYAMA, C.S.; MIRANDA, G.V. Análise de trilha para componentes do rendimento e caracteres agrônômicos de trigo sob desfolha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 4, p.487-493, 2008.

GÓRNY, A.G.; GARCZYNSKI, S.; BANASZAK, Z.; ŁUGOWSKA, B. Genetic variation in the efficiency of nitrogen utilization and photosynthetic activity of flag leaves among the old and modern germplasm of winter wheat. **Journal of Applied Genetics**, v. 47, n. 3, p. 231-237, 2006.

GROSS, T.F.; DIAS, A.R.; KAPPES, C.; SCHIEBELBEIN, L.M.; ANSELMO, J.L.; HOLANDA, H.V. Comportamento produtivo do trigo em diferentes métodos e densidades de semeadura. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 4, p. 50-60, 2012.

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, n. 2, p. 181-192, 2004.

GUARIENTI, E.M. **Qualidade industrial de trigo**. Passo Fundo, RS: EMBRAPA - CNPT, 1996. 36p. (EMBRAPA – CNPT. Documentos, 27).

GUARIENTI, E.M.; CIACCO, C.F.; CUNHA, G.R.; DUCCA, L.J.A.; CAMARGO, C.M.O. Efeitos da precipitação pluvial, da umidade relativa do ar e de excesso de déficit hídrico do solo no peso 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.

GUTKOSKI, L.C.; KLEIN, B.; PAGNUSSATT, F.A.; PEDÓ, I. Características tecnológicas de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivados no cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 786-792, 2007.

HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F.; DIDONET, A.D.; TRINDADE, M.G.; SOARES, B.B.; MOREIRA, J.A.A.; CÁNOVAS, A.D. Eficiência de uso da radiação solar na produtividade do trigo decorrente da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 352-356, 2006.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B. Produtividade e utilização de nitrogênio em aveia em função de épocas de aplicação do nitrogênio. **Revista Brasileira Agrocência**, v. 8, n. 2, p. 117-121, 2002.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B. Eficiência no uso do nitrogênio por cultivares de aveia branca de acordo com a adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1033-1038, 2003a.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B. Atributos de desempenho industrial e qualidade de sementes em aveia branca em função da disponibilização da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 587-589, 2003b.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B. Relações entre a adubação nitrogenada e a qualidade de grãos e de sementes em aveia branca. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 979-983, 2004.

LAM, H.M.; COSCHIGANO, K.T.; OLIVEIRA, I.C.; MELO-OLIVEIRA, R.; CORUZZI, G.M. The molecular-genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 47, n. 1, p. 569-593, 1996.

LEONARD, K.J.; MARTINELLI, J.A. Virulence of oat crown rust in Brazil and Uruguay. **Plant Disease**, v. 89, n. 8, p. 802-808, 2005.

LINHARES, A.G.; NEDEL, J.L. Clima e germinação do grão do trigo na espiga. In: MOTA, F.S. (Ed.). **Agrometeorologia do trigo no Brasil**. Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. p.95-97.

LIU, S.; BARET, F.; ANDRIEU, B.; AMBICHOU, M.; ALLARD, D.; SOLAN, B.; BURGER, P. Modeling the spatial distribution of plants on the row for wheat crops: Consequences on the green fraction at the canopy level. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 136, s/n., p. 147-156, 2017.

LOOMIS, R.S.; AMTHOR, J.S. Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. **Crop Science**, v. 39, n. 6, p. 1584-1596, 1999.

LOREGIAN, M.V.; PEITER, M.X.; ROBAINA, A.D.; PEREIRA, A.C.; BEN, L.H.B.; KIRCHNER, J.H.; MEZZOMO, W.; PIMENTA, B.D. Desempenho produtivo do trigo

em função da densidade de semeadura e lâminas de irrigação suplementar. **Cultura Agrônômica**, v. 28, n. 3, p. 299-315, 2019.

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

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas**. 2. Ed. Londrina, PR: ABRATES, 2015. 660p.

MARINHO, J.L.; BAZZO, J.H.B.; CARDOSO, C.P.; ZUCARELI, C.; FONSECA, I.C.B.F. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de cultivares de trigo em diferentes densidades de semeadura. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 3, p. 122-131, 2018.

MARINHO, J.L.; SILVA, S.R.; SOUZA, D.N.; FONSECA, I.C.B.; BAZZO, J.H.B.; ZUCARELI, C. Wheat yield and seed physiological quality affected by initial seed vigor, sowing density, and environmental conditions. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 1595-1614, 2021.

MARZARI, V.; MARCHEZAN, E.; SILVA, L.S.; CAMARGO, E.R.; TELÓ, G.M. População de plantas, dose de nitrogênio e aplicação de fungicida na produção de arroz irrigado: I- Características Agrônômicas. **Ciência Rural**, v. 3, n. 2, p. 330-336, 2007.

MATTUELLA, D.; SIMIONI, S.P.; SEGATTO, C.; CIGEL, C.; ADAMS, C.R.; KLEIN, C.; LAJÚS, C.R.; SORDI, A. Eficiência agrônômica da cultura do trigo submetida a doses de nitrogênio em diferentes estádios ontogênicos. **Ciência Agrícola**, v. 16, n. 3, p. 1-9, 2018.

MEGDA, M.M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M.M.C.; VIEIRA, M.X. Resposta de cultivares de trigo ao nitrogênio em relação às fontes e épocas de aplicação sob plantio direto e irrigação por aspersão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 4, p. 1055-1060, 2009.

MELERO, M.M.; GITTI, D.C.; ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F. Coberturas vegetais e doses de nitrogênio em trigo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 4, p. 343-353, 2013.

MENDONÇA, E.S.; LOURES, E.G. **Matéria orgânica do solo**. Brasília, DF: ABEAS, 1996. 45p. (Módulo 5).

MENEGHIN, M.F.S.; RAMOS, M.L.G.; OLIVEIRA, S.A.; RIBEIRO JÚNIOR, W.Q.; AMABILE, R.F. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo para o trigo em latossolo vermelho do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1941-1948, 2008.

MILOCA, S.A.; CHAVES NETO, A.; VOLPI, N.M.P.; CONEJO, P.D. Relação entre variáveis meteorológicas e a qualidade industrial do trigo. **Ciência Rural**, v. 37, n. 1, p. 31-37, 2007.

MÓDENES, A.N.; SILVA, A.M.; TRIGUEROS, D.E.G. Avaliação das propriedades reológicas do trigo armazenado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 3, p. 508-512, 2009.

MONTEIRO, J.E.B.A. (Ed.) **Agrometeorologia dos Cultivos** – o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: INMET. 2009. 530p

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras, MG: UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, 2006. 729p.

MOTA, F. S. Clima, tecnologia e produtividade do trigo no Brasil. In: MOTA, F.S. **Agrometeorologia do trigo no Brasil**. Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989, p. 1-35.

MOTTA, I.S.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; INOUE, M.H.; ÁVILA, M.R.; BRACCINI, M.C.L. Época de semeadura em cinco cultivares de soja. II. Efeito na qualidade fisiológica das sementes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 24, n. 5, p. 1281-1286, 2002.

NEUMANN, M.; OLIVEIRA, M.R.; SPADA, C.A.; FIGUEIRA, D.N.; POCZYNEK, M. Componentes de rendimento e produção da planta de cevada em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 2, n. 3, p.61-68, 2009.

NUNES, A.S.; SOUZA, L.C.F.; VITORINO, A.C.T.; MOTA, L.H.S. Adubos verdes e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo sob plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1375-1384, 2011.

NUNES, A. S.; SOUZA, L. C. F.; MERCANTE, F. M. Adubos verdes e adubação mineral nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 432-438, 2011.

OURY, F.X.; GODIN, C.; MAILLIARD, A.; CHASSIN, A.; GARDET, O.; GIRAUD, A.; HEUMEZ, E.; MORLAIS, J.Y.; ROLLAND, B.; ROUSSET, M.; TROTET, M. CHARMET, G. A study of genetic progress due to selection reveals a negative effect of climate change on bread wheat yield in France. **European Journal of Agronomy**, v.40, p.28–38, 2012.

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.

PAGLIOSA, E.E.; BENIN, G.; BIEZUS, E.; BECHE, E.; SILVA, C.L.; MARCHESE, J.A.; MARTIN, T.N. Trinexapac-ethyl e adubação nitrogenada na cultura do trigo. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 623-630, 2013.

PELLIZZARO, K.; BRACCINI, A.L.; VIEIRA, E.S.N.; FRANCO, F.A.; MARCHIORO, V.; SCHUSTER, I. Molecular marker linked to the RB1 gene and association with pre-harvest sprouting tolerance in wheat. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 4, p. 908-914, 2016.

- PENCKOWSKI, L.H.; ZAGONEL J.; FERNANDES, E.C. Nitrogênio e redutor de crescimento em trigo de alta produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 473-479, 2009.
- PENCKOWSKI, L.H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Qualidade industrial do trigo em função do trinexapac-ethyl e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 6, p.1492-1499, 2010.
- PIANA, C.F.B.; CARVALHO, F.I.F. Trigo: a cultura que deu suporte à civilização. In: BARBIERI, R.L.; STUMPF, E.R.T. **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília, DF: Embrapa Clima Temperado, 2008. 909 p.
- PINNOW, C.; BENIN, G.; VIOLA, R.; SILVA, C.L.S.; 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.
- POPINIGIS, F. **Fisiologia de sementes**. 2.Ed. Brasília, DF: AGIPLAN,1985. 289p.
- PÖTTKER, D.; ROMAN, E.S. Efeito do nitrogênio em trigo cultivado após diferentes sucessões de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, número especial, p. 501-507, 1998.
- PRADO, R.M. Estado nutricional da semente repercute na sua qualidade. **Seed News**, v. 8, n. 4, p. 18-21, 2004.
- PRANDO, A.M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; BASSOI, M.C.; OLIVEIRA, F.A. Formas de ureia e doses de nitrogênio em cobertura no desempenho agrônomo de genótipos de trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 621-632, 2012a.
- PRANDO, A.M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; OLIVEIRA, E.A.P.; PANOFF, B. Formas de ureia e doses de nitrogênio em cobertura na qualidade fisiológica de sementes de trigo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 2, p. 1-8, 2012b.
- PRANDO, A.M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; OLIVEIRA, F.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 34-41, 2013.
- RIBEIRO, G.; PIMENTE, A.J.B.; SOUZA, M.A.; ROCHA, J.R.A.S.C.; FONSECA, W.B. Estresse por altas temperaturas em trigo: impacto no desenvolvimento e mecanismos de tolerância. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 18, n. 2-4, p. 133-142, 2012.
- RONSANI, S.C.; PIVA, J.T.; FIOREZE, S.L.; BASSO, K.C.; RIBEIRO, R.H.; BESEN, M.R. Adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca de cultivares de trigo de duplo propósito. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 2, p. 174-181, 2018.
- SÁ, M.E. Importância da adubação nitrogenada na qualidade de sementes. In: SÁ, M.E.; BUZZETTI, S. **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo, SP: Ícone, 1994. p. 65-98.

- SANGOI, L.; BERNS, A.C.; ALMEIDA, M.L.; ZANIN, C.G.; SCHWEITZER, C. Características agronômicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, p. 1564-1570, 2007.
- SANT'ANA, E.V.P.; SANTOS, A.B.; SILVEIRA, P.M. Eficiência de uso de nitrogênio em cobertura pelo feijoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 458-462, 2011.
- SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. **Aspectos técnicos na elevação do rendimento de grãos das culturas no Brasil, em plantio direto**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2002, 5 p.
- SANTOS, D.; GUIMARÃES, V.F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S.L.; MACEDO JUNIOR, E.K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 836-842, 2012.
- SCHADCHINA, T.M., DMITRIEVA, V.V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, n. 7, p.1427-1437, 1995.
- SCHEEREN, P.L.; CAIERÃO, E.; SÓ E SILVA, M.; BONOW, S. Melhoramento de trigo no Brasil. In: PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G.R. (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. Cap. 17, p. 427-452.
- SCHEEREN, P.L.; CASTRO, R.L.; CAIERÃO, E. Botânica, morfologia e descrição fenotípica. In: BORÉM, A.; SCHEEREN, P.L. **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. Cap.2, p.35 - 55.
- SCHEUER, P.M.; FRANCISCO, A.; MIRANDA, M.Z.; LIMBERGER, V.M. Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 2, p. 211-222, 2011.
- SCHMIDT, D.A.M.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; SILVA, J.A.G.; BERTAN, I.; VALÉRIO, I.P.; HARTWIG, I.; SILVEIRA, G.; GUTKOSKI, L.C. Variabilidade genética em trigos brasileiros a partir de caracteres componentes da qualidade industrial e produção de grãos. **Bragantia**, v. 68, n. 1, p. 43-52, 2009.
- SILVA, S.A.; ARF, O.; BUZETTI, S.; SILVA, M.G. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo em sistema plantio direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, número especial, p. 2717-2722, 2008.
- SILVA, C.L.; BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; BECHE, E.; TODESCHINI, M.H.; MILIONI, A.S. Nitrogen use efficiency is associates with chlorophyll content in Brazilian spring wheat. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 6, p. 957-964, 2014a.
- SILVA, C.L.; BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; TODESCHINI, M.H.; DALLO, S.C.; SASSI, L.H.S. Characterization of Brazilian wheat cultivars in terms of nitrogen use efficiency. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p.87-96, 2014b.

- SILVA, J.A.G.; ARENHARDT, E.G.; KRÜGER, C.A.M.B.; LUCHESE, O.A.; METZ, M.; MAROLLI, A. A expressão dos componentes de produtividade do trigo pela classe tecnológica e aproveitamento do nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 27-33, 2015.
- SILVEIRA, G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; VALÉRIO, I.P.; BENIN, G.; RIBEIRO, G.; CRESTANI, M.; LUCHE, H.S.; SILVA, J.A.G. Efeito da densidade de semeadura e potencial de afilhamento sobre a adaptabilidade e estabilidade em trigo. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 63-70, 2010.
- SLAFER, G. A.; RAWSON, H. M. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by physiologists and modelers. **Australian Journal Physiologist**, v. 21, n. 4, p. 393-425, 1994.
- SOUZA, S.R.; FERNANDES, M.S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M.S. (Ed) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. P. 215-252.
- SOUZA, J.L.M.; GERSTEMBERGER, E.; ARAUJO, M.A. Calibração de modelos agrometeorológicos para estimar a produtividade da cultura do trigo, considerado sistemas de manejo do solo, em Ponta Grossa-PR. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 409-418, 2013.
- TAKEITI, C. Y. **Trigo**. Brasília, DF: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2015. Disponível em:
<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CON T000girlwnqt02wx5ok05vadr1qrnof0m.html >. Acesso em: 20 jul. 2019.
- TASCA, F.A.; ERNANI, P.R.; ROGERI, D.A.; GATIBONI, L.C.; CASSOL, P.C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de uréase. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 493-502, 2011.
- TAVARES, L.C.V.; FOLONI, J.S.S.; BASSOI, M.C.; PRETE, C.E.C. Genótipos de trigo em diferentes densidades de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 2, p. 166-174, 2014.
- 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, G.C.S.; STONE, L.F.; HEINEMANN, A.B. Eficiência de uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n.1, p. 9-17, 2015.
- TODESCHINI, M.H.; MILIONI, A.S.; TREVIZAN, D.M.; BORNHOFEN, E.; FINATTO, T.; STORCK, L.; BENIN, G. Eficiência de uso do nitrogênio em cultivares modernas de trigo. **Bragantia**, v. 75, n. 3, p. 351-361, 2016.
- TOURINO, M.C.C.; REZENDE, P.M.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agrônômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8 p.1071-1077, 2002.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Production**. 2020. Disponível em:

<<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

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

VALÉRIO, I.P.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; BENIN, G.; MAIA, L.C.; SILVA, J.A.G.; SCHMIDT, D.M.; SILVEIRA, G. Fatores relacionados à produção e desenvolvimento de afilhos em trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 1, p. 1207-1218, 2009.

VALÉRIO, I.P.; CARVALHO, F.I.F.; BENIN, G.; SILVEIRA, G.; SILVA, J.A.G.; NORBERG, R.; HAGEMANN, T.; LUCHE, H.S.; OLIVEIRA, A.C. Seeding density in wheat: the more, the merrier? **Scientia Agricola**, v. 70, n. 3, p. 176-184, 2013.

VIEIRA, R.F. **Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2017. 163p.

VILLAR, M.L.P. **Manual de interpretação de análise de plantas e solos e recomendação de adubação**. Cuiabá, MT: EMPAER-MT, 2007. 182 p. (EMPAER-MT, Série Documentos, 35).

VIOLA, R. **Efeito de espécies outonais cultivadas em sucessão ao milho na produtividade do trigo, sob diferentes doses de adubação nitrogenada**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 83 p., 2011.

WAMSER, A.F.; MUNDSTOCK, C.M. Adubação nitrogenada em estádios fenológicos em cevada, cultivar "MN 698". **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 942-948, 2007.

WEINER, J.; GRIEPENTROG, H.; KRISTENSEN, L. Suppression of weeds by spring wheat *Triticum aestivum* increases with crop density and spatial uniformity. **Journal of Applied Ecology**, v.38, n. 4, p. 784-790, 2001.

WENDLING, A.; ELTZ, F.L.F.; CUBILLA, M.M.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; LOVATO, T. Recomendação de adubação nitrogenada para trigo em sucessão ao milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 985-994, 2007.

WESENDONCK, W.R.; KESSLER, A.M.; RIBEIRO, A.M.L.; SOMENSI, M.L.; BOCKOR, L.; DADALT, J.C.; MONTEIRO, A.N.T.R.; MARX, F.R. Valor nutricional e energia metabolizável de subprodutos do trigo utilizados para alimentação de suínos em crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 2, p. 203-210, 2013.

WIETHÖLTER, S. Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G.R. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: EMBRAPA Trigo, 2011. p. 135-185.

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

ZADOKS, J.C., CHANG, T.T.; KONZAK, C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v. 14, n. 6, p. 415-421, 1974.

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

ZHANG, Y.; XIA, X.; HE, Z. The seed dormancy allele *TaSdr-A1a* associated with pre-harvest sprouting tolerance is mainly present in Chinese wheat Landraces. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 130, n. 1, p. 81-89, 2017.

3 ARTIGO A

ADUBAÇÃO NITROGENADA: I. CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DE CULTIVARES DE TRIGO

3.1 RESUMO

A adubação nitrogenada na dose adequada para cada genótipo de trigo pode aumentar a eficiência nutricional e favorecer o rendimento de grãos. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de doses de nitrogênio (N) sobre as características agronômicas e a eficiência de utilização de N (EUtN) de cultivares de trigo, em diferentes ambientes de cultivo. O experimento foi conduzido em quatro ambientes de cultivo: Londrina em condição de sequeiro e irrigado, Ponta Grossa e Cascavel, em sequeiro, usando o delineamento experimental de blocos casualizados, em esquema fatorial 10×2 , sendo dez cultivares de trigo (BRS Sanhaço, BRS Graúna, BRS Gaivota, BRS Gralha-Azul, TBIO Sinuelo, TBIO Mestre, TBIO Sossego, TBIO Sintonia, TBIO Toruk e Quartzo) e 2 doses de N (40 e 120 kg ha^{-1}), aplicadas em cobertura, com três repetições. Foram realizadas as seguintes avaliações: matéria seca da parte aérea (MSPA), concentração de N na MSPA, conteúdo de N na MSPA, eficiência de utilização de N para produção de MSPA (EUtN_{MSPA}) e de grãos (EUtN_{GRÃOS}), altura de plantas, acamamento de plantas, densidade de espigas e rendimento de grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância, separadamente para cada ambiente, sendo as cultivares comparadas pelo teste de Scott-Knott e a adubação nitrogenada pelo teste F. Também foi realizada a análise de correlação de Pearson entre as variáveis avaliadas nos quatro ambientes. As cultivares Quartzo e TBIO Toruk apresentaram o melhor e o pior desempenho produtivo e eficiência de utilização de N, respectivamente. A adubação nitrogenada com 120 kg ha^{-1} de N favoreceu o desempenho produtivo e a absorção de N, mas proporcionou maior acamamento de plantas e menor EUtN para produção de MSPA e para rendimento de grãos. A resposta das cultivares às doses de N varia em função das características edafoclimáticas dos locais de cultivo. Cultivares com maior EUtN apresentaram maior rendimento de grãos. Por outro lado, cultivares com maior absorção e teor de N na MSPA apresentaram menor EUtN.

Palavras-chave: Doses de nitrogênio. Genótipos. Eficiência nutricional. Rendimento de grãos. *Triticum aestivum*.

NITROGEN FERTILIZATION: I. AGRONOMIC CHARACTERISTICS AND NITROGEN UTILIZATION EFFICIENCY OF WHEAT CULTIVARS

3.2 ABSTRACT

Nitrogen (N) fertilization in the appropriate rate for each wheat genotype can increase nutritional efficiency and favor grain yield. In this context, the objective of this study was to evaluate the effects of N doses on the agronomic characteristics and the N utilization efficiency (NUE) of wheat cultivars, in different growing environments. The experiment was carried out in four environments: Londrina, in rainfed and irrigated conditions, Ponta Grossa and Cascavel, in rainfed, using a randomized block experimental design, in a 10 × 2 factorial arrangement, being ten wheat genotypes (BRS Sanhaço, BRS Graúna, BRS Gaivota, BRS Galha-Azul, TBIO Sinuelo, TBIO Mestre, TBIO Sossego, TBIO Sintonia, TBIO Toruk and Quartzo) and 2 doses of N (40 and 120 kg ha⁻¹), applied in top dressing, with three replications. The following evaluations were performed: shoot dry matter (SDM), N concentration in SDM, N accumulation in SDM, N utilization efficiency for SDM production (NUE_{SDM}) and for grains production (NUE_{GRAINS}), plant height, plant lodging, ear density and grain yield. The data were subjected to analysis of variance, separately for each environment, being the genotypes compared by the Scott-Knott test and N fertilization by the F test. Pearson's correlation analysis was also performed between the variables evaluated in the four environments. The cultivars Quartzo and TBIO Toruk showed the best and the worst productive performance and N utilization efficiency, respectively. Nitrogen fertilization with 120 kg ha⁻¹ N favored the productive performance and the N uptake, but provided higher plant lodging and a lower NUE for SDM production and for grain yield. The response of genotypes to N doses varies according to the edaphoclimatic characteristics of the cultivation sites. Cultivars with greater NUE had higher grain yield. On the other hand, cultivars with higher N uptake and N content in the SDM had lower NUE.

Key words: Nitrogen doses. Genotypes. Nutritional efficiency. Grain yield. *Triticum aestivum*.

3.3 INTRODUÇÃO

O trigo é um dos cereais mais importantes cultivados no mundo, com produção global em torno de 766 milhões de toneladas (USDA, 2020). No Brasil, o trigo representa a principal cultura de inverno e, na última safra, foi observado um incremento de 14,1% na área cultivada e de 15,9% na produtividade, resultando na produção de, aproximadamente, 6,8 milhões de toneladas de trigo, o que representa um aumento de 32% em relação à safra passada, motivado pelos preços atrativos e ao adequado comportamento do clima (CONAB, 2021). No entanto, a produção ainda é insuficiente para atender a demanda interna do país, carecendo de importações, o que demonstra a necessidade de ampliação da produção nacional.

A adoção de técnicas de manejo adequadas ao genótipo utilizado e ao ambiente de cultivo é fundamental para a exploração do máximo potencial produtivo da cultura e para o crescente aumento da produção nacional de trigo, visando atender a demanda interna. Neste cenário, a adubação nitrogenada se destaca, pois, o nitrogênio (N) tem influência direta no crescimento e no desenvolvimento da planta, influenciando o índice de área foliar, o perfilhamento e até mesmo o seu potencial produtivo (SANGOI et al., 2007). Considerando que, grande parte dos solos brasileiros não suprem toda a demanda de N das plantas cultivadas (ERNANI, 2003), principalmente porque culturas anuais, como o trigo, necessitam de grandes doses de N em um curto espaço de tempo, a complementação desse nutriente por meio de fertilizantes é essencial a fim de aumentar sua eficiência de uso pelas plantas (COSTA; ZUCARELI; RIEDE, 2013).

A aplicação de altas doses de fertilizantes nitrogenados pode reduzir a eficiência de utilização de N (EU_tN) (BECHE et al., 2014), além de causar o acamamento das plantas e, assim, prejudicar o rendimento, a qualidade e a colheita mecanizada dos grãos (TEIXEIRA FILHO et al., 2010). Prando et al. (2013), estudando as características produtivas do trigo em função da adubação nitrogenada, verificaram que o aumento das doses de N (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) em cobertura favoreceu o acamamento de plantas, proporcionando redução da massa de mil grãos, da produtividade e do peso hectolítrico.

Por outro lado, Teixeira Filho et al. (2010), estudando a aplicação de N em trigo irrigado, observaram que o aumento médio das doses de N até 121,5 kg ha⁻¹ elevou a produtividade de grãos, independentemente da época de aplicação e da

fonte de N utilizada, corroborando os resultados obtidos por Ronsani et al. (2018), cujo maior rendimento de trigo foi obtido com 120 kg ha^{-1} de N.

É importante ressaltar que a resposta da planta de trigo à adubação nitrogenada varia em função do genótipo (BENIN et al. 2012) e das condições de cultivo (SANGOI et al., 2007). Há genótipos que necessitam de maior quantidade de N, e a dose aplicada depende das condições ambientais, que incluem o tipo de solo, o teor de matéria orgânica e a disponibilidade hídrica.

Beche et al. (2014), trabalhando com 10 cultivares brasileiras de trigo, constataram que as mais modernas possuem maior EUtN e, portanto, toleram níveis mais baixos do nutriente em relação às cultivares pioneiras. No entanto, alguns autores relatam que ainda há variabilidade quanto à EUtN entre as cultivares modernas, devido, principalmente, ao ambiente e à interação genótipo \times ambiente (SILVA et al., 2014; TODESCHINI et al., 2016). Pagliosa et al. (2013), analisando o efeito da adubação nitrogenada em genótipos de trigo cultivados em duas safras diferentes, verificaram efeito das condições ambientais, principalmente da disponibilidade hídrica, sobre as respostas do trigo à fertilização.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de doses de N sobre as características agronômicas e a eficiência de utilização de N (EUtN) de cultivares de trigo, em diferentes ambientes de cultivo.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram instalados em quatro ambientes de cultivo no estado do Paraná: Cascavel (sequeiro), Ponta Grossa (sequeiro) e Londrina em condição de sequeiro e irrigado, situados nas macrorregiões II, I e III, respectivamente, de adaptação da cultura do trigo (FOLONI; BASSOI; SILVA, 2016).

No município de Cascavel o experimento foi conduzido na área experimental do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz ($24^{\circ} 56' 25'' \text{ S}$, $53^{\circ} 30' 46'' \text{ W}$; altitude de 780 m). O relevo é suavemente ondulado e o solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distroférico argiloso; o clima regional é subtropical úmido (Cfa), com temperatura e precipitação médias anuais de $18,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e 1.822 mm, respectivamente.

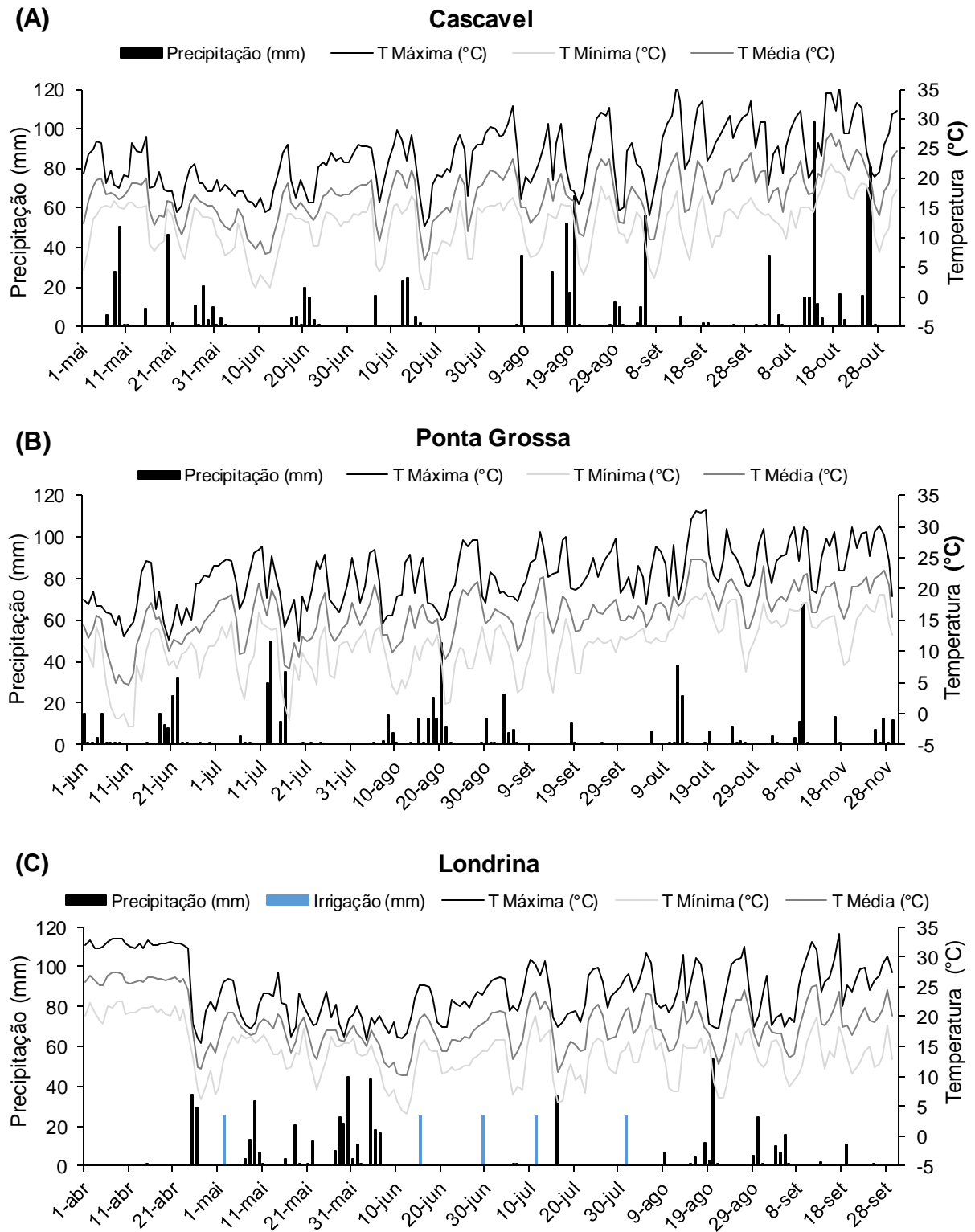
Em Ponta Grossa, o experimento foi desenvolvido na fazenda experimental da Embrapa Soja ($25^{\circ} 09' 31'' \text{ S}$, $50^{\circ} 04' 22'' \text{ W}$; altitude de 886 m). O

relevo é suavemente ondulado e o solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distroférico de textura média; o clima regional é subtropical úmido (Cfb) mesotérmico, com verão ameno, com temperatura média anual de 17,5 °C, precipitação média anual de 1.495 mm, com chuvas bem distribuídas e geadas frequentes.

Em Londrina, os experimentos também foram conduzidos na fazenda experimental da Embrapa Soja (23° 11' 37" S, 51° 11' 03" W; altitude de 628 m). O relevo é suavemente ondulado e o solo da área experimental é um Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa; o clima regional, de acordo com a classificação de Köppen, é subtropical úmido (Cfa), com verão quente e chuvoso, com temperatura e precipitação médias anuais de 21,2 °C e 1.392 mm, respectivamente, geadas pouco frequentes e sem estação seca definida.

Os dados meteorológicos durante o período de cultivo nas áreas experimentais são apresentados na Figura 1.

Figura 1. Médias diárias de temperaturas (média, máxima e mínima) e precipitação pluvial durante o período de condução dos experimentos em Cascavel (A), Ponta Grossa (B) e Londrina (C).



Previamente à instalação dos experimentos, foram coletadas amostras de solo nas áreas experimentais nas camadas de 0–10 e 10–20 cm para análises químicas e físicas, sendo os resultados apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e física dos solos (camadas de 0–10 e 10–20 cm) das áreas experimentais de Cascavel, Ponta Grossa, Londrina–irrigado e Londrina–sequeiro.

Camada cm	pH ⁽¹⁾	CO ⁽²⁾ g dm ⁻³	P ⁽³⁾ mg dm ⁻³	K ⁽³⁾	Al ⁽⁴⁾	Ca ⁽⁴⁾	Mg ⁽⁴⁾	H+Al ⁽⁵⁾	CTC ⁽⁶⁾	V ⁽⁷⁾ %	Dsolo ⁽⁸⁾ g cm ⁻³	Argila	Silte	Areia
Cascavel														
0–10	4,76	30,5	24,7	124	0,19	5,21	1,46	5,66	12,49	54,7	1,12	655	220	125
10-20	4,64	27,4	16,6	94	0,32	4,17	1,18	5,90	11,48	48,7	1,10	690	204	106
Ponta Grossa														
0-10	4,63	23,9	11,2	121	0,16	2,84	0,99	5,72	9,85	42,0	1,29	526	77	397
10–20	4,77	22,8	4,7	133	0,06	3,03	1,12	5,59	10,09	45,0	1,10	570	65	365
Londrina–sequeiro														
0–10	5,44	15,2	34,0	214	0,00	4,38	2,48	4,21	11,61	63,6	1,32	732	161	107
10–20	5,45	15,5	30,2	199	0,00	4,48	2,48	4,48	11,94	62,5	1,31	762	146	92
Londrina–irrigado														
0–10	5,67	15,7	44,5	195	0,00	5,05	2,34	4,06	11,95	66,0	1,32	732	161	107
10–20	5,58	15,9	36,5	147	0,00	4,74	2,09	4,48	11,69	61,6	1,31	762	146	92

⁽¹⁾ Potencial hidrogeniônico (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹). ⁽²⁾ Carbono orgânico do solo. ⁽³⁾ Fósforo disponível e potássio trocável (Mehlich-1). ⁽⁴⁾ Alumínio, cálcio e magnésio trocáveis (KCl 1 mol L⁻¹). ⁽⁵⁾ Acidez potencial (acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0). ⁽⁶⁾ Capacidade de troca catiônica. ⁽⁷⁾ Saturação por bases. ⁽⁸⁾ Densidade aparente do solo.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados, com três repetições, contemplando o arranjo fatorial 10 × 2, sendo dez cultivares de trigo (BRS Sanhaço, BRS Graúna, BRS Gaivota, BRS Galha-Azul, TBIO Sinuelo, TBIO Mestre, TBIO Sossego, TBIO Sintonia, TBIO Toruk e Quartzo) e duas doses de N (40 e 120 kg ha⁻¹), aplicadas em cobertura.

As cultivares avaliadas apresentam, na grande maioria, ciclo de desenvolvimento médio (com exceção das cultivares TBIO Sintonia e Quartzo, que são mais precoces, e TBIO Sinuelo cujo ciclo varia de médio a tardio). A maioria das cultivares possuem estatura média, com altura entre 75 a 100 cm, exceto a TBIO Toruk e TBIO Mestre que são classificadas como de porte baixo e médio/baixo, respectivamente. Quanto à resistência ao acamamento, a maioria das cultivares são

resistentes ou moderadamente resistentes, sendo somente a BRS Gralha-Azul e a TBIO Sossego classificadas como suscetível e moderadamente suscetível (BASSOI; FOLONI, 2015a; BASSOI; FOLONI, 2015b; BASSOI; FOLONI, 2016; BASSOI; FOLONI; SILVA, 2017; EMBRAPA, 2017).

Cada parcela experimental foi composta por nove linhas de semeadura com 6 m de comprimento, espaçadas 0,18 m entre si, totalizando 9,6 m². O trigo foi semeado (Londrina = 29/04; Ponta Grossa = 09/06; Cascavel = 13/05) sobre palhada de soja, em sistema de plantio direto, em sulcos com aproximadamente 4 cm de profundidade e densidade de semeadura de 350 sementes viáveis m⁻². As parcelas experimentais receberam a adubação de base no sulco de semeadura composta por 250 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16 (N-P₂O-K₂O) (CBPTT, 2016). Os tratamentos com adubação nitrogenada em cobertura foram aplicados no início do perfilhamento da cultura (estádios fenológicos Z22-Z23 da escala de ZADOKS; CHANG; KONZAC, 1974), utilizando o nitrato de amônio (32% de N).

Para o ambiente irrigado de Londrina, as irrigações foram realizadas de acordo com a umidade do solo, medida indiretamente por um conjunto de tensiômetros, sendo aplicadas cinco lâminas de 25 mm de água durante todo o ciclo da cultura (Figura 1A). O manejo fitossanitário e demais tratos culturais, em todos os ambientes, foram baseados nas indicações da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (CBPTT, 2016).

No estágio fenológico de florescimento pleno (Z69), plantas de trigo (exceto raízes) foram colhidas em duas linhas centrais com 0,5 m de extensão (0,18 m²) no interior de cada parcela experimental, acondicionadas em sacos de papel e, posteriormente, colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas e pesadas para determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA). As amostras de tecido vegetal foram moídas em moinho tipo Wiley de aço inoxidável, passadas em peneira de 0,1 mm, para subsequente determinação do teor de N na MSPA pelo método de Kjeldahl. Para estimativa do N absorvido, o conteúdo de N na MSPA foi calculado a partir da concentração de N e da massa seca [conteúdo (kg ha⁻¹) = matéria seca (kg ha⁻¹) x concentração (dag kg⁻¹) / 100]. O florescimento pleno foi definido para esta avaliação devido ser o estágio fenológico com maior conteúdo de N absorvido pela planta (WIETHÖLTER, 2011), apresentando, portanto, maior contribuição para a formação e rendimento de grãos.

A eficiência de utilização de N (EUtN) para produção de MSPA das cultivares de trigo foi estimada de acordo com a equação 1 (SIDDIQUI; GLASS, 1981):

$$EUtN - MSPA (g^2 mg^{-1}) = \frac{(g \text{ de MSPA})^2}{mg \text{ de N na MSPA}} \quad (1)$$

Também foi avaliada a EUtN para rendimento de grãos (CRUSCIOL et al., 2003) através da seguinte relação (2):

$$EUN - Grãos (kg kg^{-1}) = \frac{kg \text{ de grãos produzidos}}{kg \text{ de N na MSPA no florescimento}} \quad (2)$$

Além disso, foram avaliados a altura de plantas (média de cinco plantas por parcela, medidas do solo ao ápice da espiga), a densidade de espigas (espigas por m²; por meio da contagem do número total de espigas em duas linhas com 0,5 m de extensão), ambas no estágio de maturidade fisiológica, e o acamamento de plantas (método visual adaptado de EMBRAPA, 2009) no dia anterior à colheita. Também foi determinado o rendimento de grãos na maturidade fisiológica (grãos com umidade abaixo de 20%; Londrina = 16/09; Ponta Grossa = 03/11; Cascavel = 18/10) através da colheita de 7 linhas centrais × 6 m de comprimento com colhedora automotriz desenvolvida para experimentação agrônômica (Wintersteiger®), sendo a massa de grãos registrada após ajuste da umidade para 13% com resultados expressos em kg ha⁻¹.

Os dados obtidos foram submetidos, por meio do software R (R CORE TEAM, 2020), às análises de normalidade e de homogeneidade de variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Atendidas todas as pressuposições requeridas, foi realizada a análise de variância (ANOVA) ($P < 0,05$), separadamente para cada ambiente. As médias dos dez tratamentos qualitativos (cultivares de trigo) foram comparados pelo teste de agrupamento de Scott-Knott ($P < 0,05$). As médias dos dois tratamentos quantitativos (doses de N) foram comparadas pelo teste F ($P < 0,05$) diretamente na ANOVA. As variáveis avaliadas nos quatro ambientes de cultivo também foram submetidas à análise de correlação de Pearson.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1. Características agrônômicas das plantas

A altura de plantas foi influenciada pelos genótipos em Cascavel e Ponta Grossa (Tabela 2). Em Londrina-irrigado a altura apresentou influência de genótipos e doses de N, separadamente, e em Londrina-sequeiro constatou-se efeito significativo da interação entre estes dois fatores. A TBIO Toruk apresentou a menor porte em todos os ambientes de cultivo. Por outro lado, a cultivar Quartzo apresentou maior altura em todos os locais.

Tabela 2. Resumo da análise de variância e médias de altura e acamamento de plantas de dez genótipos de trigo cultivados em quatro ambientes (Cascavel, Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio (N).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio							
		Altura de plantas				Acamamento de plantas			
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado
Bloco	2	21,0	3,87	5,71	0,89	5,02	-	602	230
Genótipo (G)	9	451***	292***	336***	166***	1601***	-	2542***	6047***
Doses N (N)	1	18,6 ^{ns}	17,7 ^{ns}	19,0 ^{ns}	371***	132***	-	1602*	2802*
G x N	9	7,74 ^{ns}	5,61 ^{ns}	35,9*	10,4 ^{ns}	14,6 ^{ns}	-	265 ^{ns}	415 ^{ns}
Resíduo	38	4,85	6,44	15,5	19,5	9,26	-	256	403
CV (%)		2,49	2,80	4,93	5,22	41,6	-	36,3	31,5

Fator	Tratamento	Altura de plantas (cm)				Acamamento de plantas (%)			
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado
Genótipo (G)	BRS Sanhaço	87,3 c	90,6 b	77,5	83,7 b	0,00 c	0,00	52,5 b	55,0 b
	BRS Graúna	87,8 c	92,2 b	75,1	83,8 b	2,00 c	0,00	45,8 b	75,8 a
	BRS Gaivota	91,5 b	91,7 b	83,0	90,0 a	2,50 c	0,00	31,7 b	21,7 c
	BRS Gralha-Azul	87,7 c	91,6 b	80,0	83,0 b	53,3 a	0,00	87,5 a	99,2 a
	TBIO Sinuelo	92,8 b	93,5 a	85,4	88,3 a	0,00 c	0,00	31,7 b	45,0 b
	TBIO Mestre	86,2 c	88,1 c	79,2	83,6 b	1,67 c	0,00	53,3 b	84,2 a
	TBIO Sossego	93,4 b	95,2 a	87,3	88,5 a	3,33 c	0,00	50,0 b	75,0 a
	TBIO Sintonia	92,0 b	95,5 a	81,0	83,8 b	7,83 b	0,00	39,2 b	92,5 a
	TBIO Toruk	66,4 d	71,9 d	62,3	71,9 c	0,00 c	0,00	6,67 c	3,33 c
Quartzo	99,2 a	95,4 a	88,2	89,4 a	2,50 c	0,00	43,3 b	85,0 a	
Doses de N (N)	40	89,0	90,0	79,3	82,1 b	5,83 b	0,00	39,0 b	56,8 b
	120	87,9	91,1	80,5	87,1 a	8,80 a	0,00	49,3 a	70,5 a

GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. ns, *, ** e *** = não significativo, significativo a $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ e $P \leq 0,001$, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesmas letras na coluna, para os fatores genótipo ou doses de N, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$) ou pelo teste F ($P \geq 0,05$, de acordo com a análise de variância), respectivamente.

Em Londrina-irrigado, a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N resultou em plantas maiores quando comparadas às plantas que receberam apenas 40 kg ha⁻¹ de N (Tabela 2). A aplicação de N associada a condições ambientais que influenciam a taxa de absorção deste nutriente, favorece o alongamento do colmo em cereais (ESPINDULA et al., 2010), o que explica os resultados obtidos para este ambiente de cultivo. Pietro-Souza et al. (2013) avaliando o desenvolvimento do trigo, em casa de

vegetação, com seis doses de N (0, 80, 160, 240, 320 e 400 mg dm⁻³), também observaram um aumento na altura das plantas com a aplicação de 120 a 180 mg dm⁻³ de N.

Em Londrina-sequeiro, a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N favoreceu a altura somente das cultivares Sinuelo e Quartzo, para os demais genótipos não foi observada diferença significativa entre as doses de N estudadas.

Em Londrina-sequeiro a altura dos genótipos variou de acordo com a dose de N (Tabela 3). Na dose de 40 kg ha⁻¹ de N a TBIO Toruk destacou-se com o menor porte, seguida da BRS Graúna. Por outro lado, as cultivares Quartzo, TBIO Sossego, BRS Gaivota e TBIO Sintonia apresentaram maior porte. Na dose de 120 kg ha⁻¹ de N a TBIO Toruk também se destacou como o genótipo mais baixo, e, por outro lado, a Quartzo e TBIO Sinuelo destacaram-se como as de maior porte, com 91,9 e 90,0 cm, respectivamente. As demais cultivares apresentaram desempenho intermediário.

Tabela 3. Desdobramento da altura de plantas de dez genótipos de trigo cultivados em Londrina-sequeiro com duas doses de nitrogênio (N).

Genótipos	Dose de N	
	Altura de plantas (cm)	
	Londrina-sequeiro	
	40	120
BRS Sanhaço	77,2 bA	77,9 bA
BRS Graúna	74,1 cA	76,1 bA
BRS Gaivota	82,5 aA	83,4 bA
BRS Gralha-Azul	79,2 bA	80,8 bA
TBIO Sinuelo	80,7 bB	90,0 aA
TBIO Mestre	77,5 bA	80,9 bA
TBIO Sossego	89,8 aA	84,9 bA
TBIO Sintonia	83,8 aA	78,3 bA
TBIO Toruk	64,0 dA	60,5 cA
Quartzo	84,4 aB	91,9 aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha (individualmente para cada local), não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$) ou pelo teste t ($P \geq 0,05$), respectivamente.

A altura do trigo é uma característica definida geneticamente e, embora possa ser influenciada pelo manejo e ambiente de cultivo, sempre está associada ao genótipo. A cultivar TBIO Toruk é geneticamente definida como de porte baixo e, por isso, apresentou altura inferior às demais em todos os ambientes de cultivo. A cultivar Quartzo apresenta porte médio, no entanto, pode ocorrer variação

na estatura em virtude do ambiente ou manejo aplicado e, por isso, este genótipo atingiu uma altura superior, embora ainda seja classificado como de estatura média (EMBRAPA, 2017).

Para acamamento de plantas constatou-se efeito significativo de genótipos e doses de N em todos os locais avaliados, exceto em Ponta Grossa, onde não houve acamamento (Tabela 2). A aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N favoreceu o acamamento das plantas em todos os locais avaliados, mas em diferentes intensidades. Quanto aos genótipos, verificou-se que a BRS Gralha-Azul apresentou maior acamamento em todos os ambientes edafoclimáticos, seguida da TBIO Sintonia. Em Cascavel, o acamamento foi de baixa intensidade comparada aos outros locais. Em Londrina-sequeiro, a maioria das cultivares apresentaram acamamento significativo, com exceção da TBIO Toruk. Em Londrina-irrigado, o acamamento da maioria das cultivares foi superior aos outros ambientes de cultivo, com exceção da TBIO Toruk e da BRS Gaivota.

Os resultados demonstram que o acamamento das plantas é influenciado pelo manejo, pelo ambiente de cultivo e pelo genótipo utilizado. A aplicação de elevadas doses de N favorece o acamamento (TEIXEIRA FILHO et al., 2010). No entanto, as condições edafoclimáticas da região de cultivo influenciam a absorção deste nutriente e, conseqüentemente, a predisposição das plantas ao acamamento. Nas regiões de Ponta Grossa e Cascavel as temperaturas são mais amenas (Figura 1), o que resulta em menor velocidade de decomposição da matéria orgânica, maior acúmulo de carbono orgânico (Tabela 1) e menor disponibilidade de N, o que explica a ausência e a baixa taxa de acamamento observada nestes ambientes, mesmo com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N.

Por outro lado, em Londrina as temperaturas são mais altas (Figura 1) e a textura do solo é argilosa, o que acelera a decomposição da matéria orgânica, resultando em maior quantidade de N disponível, contribuindo para o acamamento. Além disso, em Londrina-irrigado a maior disponibilidade hídrica, devido à irrigação, também favorece a absorção de maior quantidade de N pelas plantas, por isso neste ambiente de cultivo foi observado maior acamamento que nos demais.

Além dos fatores citados, o genótipo também influencia significativamente o acamamento (CRUZ et al., 2003). A TBIO Toruk apresentou menor acamamento na maioria dos locais avaliados, isto porque, esta cultivar é classificada como moderadamente resistente a este dano (EMBRAPA, 2017). Por

outro lado, a BRS Gralha-Azul é geneticamente suscetível (BASSOI; FOLONI, 2015b) e, por isto, apresentou o maior valor de acamamento em todos os ambientes.

A densidade de espigas (espigas por m²) foi influenciada pelos genótipos em todos os ambientes, e em Ponta Grossa ela também foi alterada pelas doses de N (Tabela 4). A TBIO Toruk apresentou menor densidade de espigas em todos os locais avaliados. Em Ponta Grossa e Cascavel, a TBIO Sintonia também apresentou menor número de espigas por m². Em Londrina-sequeiro e irrigado, a BRS Gaivota também se destacou com menor densidade de espigas, sendo que neste último ambiente edafoclimático, outras cultivares, como TBIO Sinuelo, BRS Graúna e BRS Gralha-Azul, também apresentaram menor desempenho. Quanto ao efeito de doses de N, a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N favoreceu o número de espigas por m² em Ponta Grossa.

O rendimento de grãos foi influenciado pelos genótipos em Londrina-sequeiro e pela interação entre genótipos e doses de N nos outros ambientes de cultivo (Tabela 4). Em Londrina-sequeiro a TBIO Toruk apresentou o menor desempenho produtivo, seguido das cultivares BRS Sanhaço e BRS Gaivota, que foram superiores à Toruk e inferiores aos demais genótipos. Em Londrina-irrigado houve efeito de doses de N somente para a TBIO Sinuelo e a BRS Sanhaço, sendo que a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N proporcionou maior rendimento de grãos para estas cultivares. Também foi observada diferença entre os genótipos dentro de cada dose de N. Com 40 kg ha⁻¹ de N as cultivares BRS Sanhaço, BRS Gaivota e TBIO Toruk apresentaram menor rendimento em relação às demais. Na dose de 120 kg ha⁻¹ de N as cultivares TBIO Mestre, BRS Gaivota, BRS Gralha-Azul e TBIO Toruk apresentaram o menor desempenho produtivo e somente a TBIO Sinuelo e TBIO Sossego foram superiores aos outros genótipos (Tabela 5).

Tabela 4. Resumo da análise de variância e médias de densidade de espigas e rendimento de grãos de dez genótipos de trigo cultivados em quatro ambientes (Cascavel, Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio (N).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio							
		Densidade de espigas				Rendimento de grãos			
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado
Bloco	2	1235	1185	175	5210	125303	118434	411203	130994
Genótipo (G)	9	22249*	20881***	15598*	19202***	5467458***	7904912***	2504814***	1052316***
Doses N (N)	1	7575 ^{ns}	50226**	356 ^{ns}	152 ^{ns}	915782**	6933797***	80878 ^{ns}	929 ^{ns}
G x N	9	18153 ^{ns}	2626 ^{ns}	4295 ^{ns}	7511 ^{ns}	278721*	259485*	216056 ^{ns}	387679*
Resíduo	38	9910	4111	6462	4103	99830	94236	357099	150635
CV (%)		17,3	11,9	19,0	12,5	4,69	4,83	15,9	7,20

Fator	Tratamento	Densidade de espigas (espigas por m ²)				Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)			
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado
		Genótipo (G)	BRS Sanhaço	616 a	587 a	472 a	527 a	7523	7083
BRS Graúna	521 b		515 a	416 a	468 b	6745	6385	3972 a	5763
BRS Gaivota	596 a		589 a	381 b	415 b	6505	6227	2992 b	4783
BRS Gralha-Azul	620 a		537 a	460 a	454 b	6250	7345	3744 a	5304
TBIO Sinuelo	622 a		581 a	418 a	504 b	8125	7002	4693 a	5923
TBIO Mestre	628 a		595 a	442 a	579 a	7109	6744	4059 a	5092
TBIO Sossego	610 a		530 a	438 a	569 a	7080	6428	4386 a	5913
TBIO Sintonia	530 b		480 b	475 a	579 a	5933	6151	3790 a	5571
TBIO Toruk	441 b		406 b	302 b	489 b	4723	3294	2499 c	4775
Quartzo	582 a		530 a	427 a	545 a	7376	6939	4047 a	5459
Doses de N (N)	40	565	506 b	425	511	6613	6020	3726	5398
	120	588	564 a	421	514	6860	6700	3800	5390

GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. ns, *, ** e *** = não significativo, significativo a $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ e $P \leq 0,001$, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesmas letras na coluna, para os fatores genótipo ou doses de N, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$) ou pelo teste F ($P \geq 0,05$, de acordo com a análise de variância), respectivamente.

Tabela 5. Desdobramento do rendimento de grãos de dez genótipos de trigo cultivados em Cascavel, Ponta Grossa e Londrina-irrigado, com duas doses de nitrogênio (N).

Genótipos	Dose de N					
	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)					
	Cascavel		Ponta Grossa		Londrina-irrigado	
	40	120	40	120	40	120
BRS Sanhaço	7131 bB	7915 aA	6740 aB	7425 bA	5001 bB	5703 bA
BRS Graúna	6697 cA	6792 bA	5858 bB	6911 cA	5872 aA	5655 bA
BRS Gaivota	6616 cA	6394 cA	5845 bB	6610 cA	4692 bA	4873 cA
BRS Galha-Azul	6207 dA	6293 cA	6683 aB	8008 aA	5615 aA	4993 cA
TBIO Sinuelo	8050 aA	8199 aA	6846 aA	7158 bA	5518 aB	6328 aA
TBIO Mestre	7260 bA	6958 bA	6185 bB	7304 bA	5342 aA	4842 cA
TBIO Sossego	6932 bA	7228 bA	6008 bB	6849 cA	5739 aA	6087 aA
TBIO Sintonia	5862 dA	6003 cA	5958 bA	6344 cA	5651 aA	5492 bA
TBIO Toruk	4156 eB	5290 dA	3243 cA	3345 dA	5053 bA	4497 cA
Quartzo	7221 bA	7530 aA	6834 aA	7045 cA	5491 aA	5426 bA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha (individualmente para cada local), não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$) ou pelo teste t ($P \geq 0,05$), respectivamente.

Em Cascavel, a dose de 120 kg ha⁻¹ de N favoreceu o rendimento de grãos da BRS Sanhaço e TBIO Toruk (Tabela 5). Quanto aos genótipos, constatou-se que a TBIO Toruk apresentou o menor rendimento de grãos. Por outro lado, a TBIO Sinuelo destacou-se positivamente, apresentando maior desempenho produtivo em ambas doses de N. Além disso, a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N favoreceu o desempenho produtivo da Quartzo e da BRS Sanhaço, pois estas cultivares apresentaram elevado rendimento de grãos assim como a TBIO Sinuelo, nesta dose específica.

Em Ponta Grossa, a dose de 120 kg ha⁻¹ de N favoreceu o rendimento de grãos das cultivares TBIO Mestre, BRS Sanhaço, TBIO Sossego, BRS Graúna, BRS Gaivota e BRS Galha-Azul (Tabela 5). Quanto aos genótipos, a TBIO Toruk e a BRS Galha-Azul apresentaram o menor e o maior desempenho produtivo, respectivamente, nas duas doses avaliadas. Além disso, na dose de 40 kg ha⁻¹ de N as cultivares TBIO Sinuelo, Quartzo e BRS Sanhaço também destacaram-se positivamente assim como a BRS Galha-Azul, com um elevado rendimento de grãos.

É importante ressaltar que o rendimento de grãos obtido nos três ambientes de cultivo está acima da produtividade média nacional, que está em torno de 2670 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021), o que demonstra o elevado potencial produtivo da cultura e das cultivares utilizadas, com destaque para a TBIO Sinuelo que produziu

cerca de 8000 kg ha⁻¹ de grãos de trigo em Cascavel. Estes resultados devem-se também às condições climáticas favoráveis à cultura durante a condução dos experimentos (Figura 1) e ao manejo empregado, que inclui, principalmente, a adubação nitrogenada.

De forma geral, a cultivar TBIO Toruk apresentou a menor densidade de espigas e, conseqüentemente, o menor rendimento de grãos em todos os locais avaliados, independentemente da dose de N aplicada. Além disso, a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N favoreceu a densidade de espigas em Ponta Grossa e o rendimento de grãos de alguns genótipos em Cascavel e Ponta Grossa.

De acordo com Sangoi et al. (2007), os genótipos de trigo apresentam diferenças na capacidade de emissão de perfilhos, no ciclo de desenvolvimento, na arquitetura das plantas e, conseqüentemente, no potencial produtivo, e estas diferenças podem interferir nos requerimentos e na capacidade de absorção de N. Além disso, genótipos com bases genéticas diferentes também apresentam respostas diferenciadas à aplicação de N, o que explica os diferentes resultados obtidos entre os materiais genéticos quanto aos efeitos das doses de N estudadas. Da mesma forma Costa; Zucareli; Riede (2013) trabalhando com trigo, observaram respostas distintas à adubação nitrogenada parcelada, em função do genótipo.

Além disso, os melhores resultados em Ponta Grossa e Cascavel, em função da aplicação de N, devem-se à menor oferta inicial deste nutriente devido às condições climáticas destes ambientes (Figura 1), que influenciaram a taxa de decomposição da palhada do solo. Em Londrina, por outro lado, a disponibilidade inicial de N é maior, pois as temperaturas são mais elevadas e aceleram a decomposição da matéria orgânica do solo. Sendo assim, nesta região este elemento é absorvido em quantidade suficiente pelas plantas via decomposição da palhada. Por isso, não foram observadas respostas significativas à aplicação deste nutriente em cobertura como nos outros locais de cultivo.

A aplicação da maior dose de N favoreceu as características agronômicas de algumas cultivares, em alguns locais de cultivo, o que evidencia a influência deste elemento sobre algumas características da cultura. Isto ocorre porque o N propicia ao trigo um perfilhamento adequado, o que aumenta a densidade de espigas e, conseqüentemente, o rendimento de grãos (NEUMANN et al., 2009). Ronsani et al. (2018), trabalhando com adubação nitrogenada em trigo, também constataram que doses de até 120 kg ha⁻¹ de N favorecem o rendimento de grãos da

cultura, corroborando os resultados obtidos em Cascavel e Ponta Grossa para algumas cultivares,

3.5.2. Absorção e eficiência de utilização de N

Não foi observada influência significativa de nenhum dos fatores estudados, nem da interação entre eles na massa seca da parte aérea das plantas por ocasião do florescimento (Tabela 6). Por outro lado, para o teor de N na MSPA observou-se efeito significativo de genótipos e de doses de N, separadamente, na maioria dos ambientes avaliados, exceto para Londrina-sequeiro, onde foi constatada influência significativa da interação entre os fatores. A aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N favoreceu a concentração de N na MSPA nos ambientes em que foi constatado o efeito isolado de dose de N. Quanto aos genótipos, em Cascavel, a maioria das cultivares apresentaram adequado desempenho para teor de N na MSPA, exceto a Quartzo, a BRS Graúna, TBIO Sintonia e a BRS Gaivota, que apresentaram valores inferiores às demais, sendo as três primeiras também inferiores em Londrina-irrigado. A TBIO Toruk destacou-se dos outros genótipos apresentando a maior concentração de N na MSPA em todos os ambientes de cultivo, sendo a única cultivar classificada como de melhor desempenho em Ponta Grossa.

Tabela 6. Resumo da análise de variância e médias de massa seca da parte aérea (MSPA), teor de N na MSPA e conteúdo de N na MSPA de dez genótipos de trigo cultivados em quatro ambientes (Cascavel, Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio (N).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio											
		MSPA				Teor de N na MSPA				Conteúdo de N na MSPA			
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado
Bloco	2	3308355	1536001	1465888	761203	0,03	0,01	0,00	0,02	909	366	169	665
Genótipo (G)	9	2246277 ^{ns}	2370048 ^{rs}	6638529 ^{ns}	1788602 ^{rs}	0,06 ^{***}	0,14 ^{***}	0,10 ^{***}	0,15 ^{***}	1677 ^{**}	140 ^{ns}	1030 ^{ns}	669 ^{ns}
Doses de N (N)	1	1247526 ^{ns}	2104111 ^{rs}	1083208 ^{ns}	1629424 ^{rs}	0,27 ^{***}	0,54 ^{***}	0,15 ^{**}	0,21 ^{**}	1158 ^{ns}	7599 ^{**}	2555 ^{ns}	4938 ^{**}
G x N	9	1682844 ^{ns}	3050962 ^{rs}	19040444 ^{rs}	3917120 ^{rs}	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,03 [*]	0,01 ^{ns}	575 ^{ns}	904 ^{ns}	556 ^{ns}	1094 ^{ns}
Resíduo	38	1617318	3825607	5147998	1950273	0,01	0,03	0,01	0,02	547	895	864	540
CV (%)		12,6	23,9	23,6	15,4	5,75	9,28	8,47	8,31	13,0	20,6	23,1	15,5

Fator	Tratamento	MSPA (kg ha ⁻¹)				Teor de N na MSPA (%)				Conteúdo de N na MSPA (kg ha ⁻¹)			
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado
Genótipo (G)	BRS Sanhaço	9494	8052	8272	8614	1,89 a	1,82 b	1,38	1,68 b	179 b	147	115	145
	BRS Graúna	10019	8287	10314	9476	1,70 b	1,70 b	1,26	1,54 c	170 b	140	129	145
	BRS Gaivota	10183	8614	9101	8221	1,70 b	1,66 b	1,42	1,64 b	172 b	142	130	135
	BRS Gralha-Azul	9125	8287	10847	9382	1,83 a	1,88 b	1,29	1,62 b	166 b	155	140	152
	TBIO Sinuelo	10651	7678	10941	9228	1,89 a	1,85 b	1,44	1,73 b	200 a	141	155	158
	TBIO Mestre	9644	8474	9696	8680	1,81 a	1,78 b	1,38	1,71 b	174 b	148	133	146
	TBIO Sossego	10459	8614	9916	9003	1,79 a	1,73 b	1,25	1,64 b	188 a	148	123	148
	TBIO Sintonia	9775	9036	9888	9827	1,63 b	1,62 b	1,15	1,48 c	158 b	145	115	146
	TBIO Toruk	11217	6742	7631	8553	1,91 a	2,15 a	1,58	2,05 a	213 a	145	120	174
	Quartzo	10314	8146	9476	9757	1,67 b	1,73 b	1,18	1,52 c	173 b	139	113	148
Doses de N (N)	40	10232	8006	9474	8909	1,71 b	1,70 b	1,28	1,60 b	175	134 b	121	141 b
	120	9944	8380	9743	9239	1,85 a	1,89 a	1,38	1,72 a	184	156 a	134	159 a

GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. ns, *, ** e *** = não significativo, significativo a $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ e $P \leq 0,001$, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesmas letras na coluna, para os fatores genótipo ou doses de N, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$) ou pelo teste F ($P \geq 0,05$, de acordo com a análise de variância), respectivamente.

Em Londrina-sequeiro, o teor de N na MSPA das cultivares TBIO Sinuelo e da BRS Graúna aumentou com a adição de 120 kg ha⁻¹ de N (Tabela 7). Quanto aos genótipos, na dose de 40 kg ha⁻¹ de N, a TBIO Mestre, a BRS Sanhaço, a BRS Gaivota e a TBIO Toruk foram superiores aos demais, apresentando maior teor de N na MSPA. Na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, a TBIO Sinuelo e a TBIO Toruk apresentaram os melhores resultados e, a Quartzo, a TBIO Sossego e a TBIO Sintonia, os piores.

Tabela 7. Desdobramento do teor de N na MSPA de dez genótipos de trigo cultivados em Londrina-sequeiro com duas doses de N.

Genótipos	Dose de N	
	Teor de N na MSPA (%)	
	Londrina-sequeiro	
	40	120
BRS Sanhaço	1,35 aA	1,41 bA
BRS Graúna	1,10 bB	1,42 bA
BRS Gaivota	1,46 aA	1,38 bA
BRS Gralha-Azul	1,21 bA	1,37 bA
TBIO Sinuelo	1,27 bB	1,60 aA
TBIO Mestre	1,39 aA	1,37 bA
TBIO Sossego	1,27 bA	1,24 cA
TBIO Sintonia	1,15 bA	1,15 cA
TBIO Toruk	1,54 aA	1,62 aA
Quartzo	1,10 bA	1,26 cA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha (individualmente para cada local), não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$) ou pelo teste t ($P \geq 0,05$), respectivamente.

O conteúdo de N na MSPA das cultivares TBIO Sinuelo, TBIO Sossego e TBIO Toruk foi superior às demais em Cascavel (Tabela 6). Em Ponta Grossa e Londrina-irrigado o conteúdo de N aumentou com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N, quando comparado à menor dose de N.

A eficiência de utilização de N (EUtN) para produção de MSPA (EUtN_{MSPA}) foi influenciado pelas doses de N em Cascavel e pelos genótipos em Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado (Tabela 8). A aplicação da menor dose de N (40 kg ha⁻¹) favoreceu a EUtN_{MSPA} em Cascavel. Em Londrina-sequeiro a maioria das cultivares apresentaram elevada EUtN_{MSPA}, com exceção da BRS Sanhaço, BRS Gaivota e TBIO Toruk. Por outro lado, em Londrina-irrigado somente as cultivares Quartzo, BRS Graúna, BRS Gralha-Azul e TBIO Sintonia destacaram-se

positivamente. Em Ponta Grossa a $EUtN_{MSPA}$ não foi influenciada pelos fatores estudados.

A maior disponibilidade de N resultou em maior absorção deste nutriente pelas plantas, na maioria dos ambientes estudados. Da mesma forma, Viana; Kiehl (2010) avaliando o efeito de doses de N no crescimento do trigo, também constataram que o aumento das doses de N resultou em maior concentração deste nutriente na MSPA das plantas. Além disso, esses autores verificaram que o aumento do teor de N também resultou em maior MSPA, o que pode estar relacionado ao consumo de luxo da planta e à baixa eficiência de uso de N. Algo semelhante pode ter acontecido com as cultivares de trigo na maior dose de N (120 kg ha^{-1}), especialmente em Cascavel.

A $EUtN$ para produção de grãos ($EUtN_{Grãos}$) foi influenciada somente pelos genótipos nos ambientes de Cascavel, Ponta Grossa e Londrina-sequeiro (Tabela 8). Em Londrina-irrigado, a $EUtN_{Grãos}$ variou devido à interação entre os fatores estudados. A cultivar TBIO Toruk apresentou o menor valor de $EUtN_{Grãos}$ em Cascavel e Ponta Grossa, sendo inferior às outras cultivares nestes dois ambientes. Em Londrina-sequeiro, além da TBIO Toruk, a BRS Gaivota e a BRS Galha-Azul também apresentaram menor desempenho de $EUtN_{Grãos}$.

Tabela 8. Resumo da análise de variância e médias da eficiência de utilização de N para produção de massa seca da parte aérea ($EUtN_{MSPA}$) e para rendimento de grãos ($EUtN_{Grãos}$) de dez genótipos de trigo cultivados em quatro ambientes (Cascavel, Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio (N).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio							
		$EUtN_{MSPA}$				$EUtN_{Grãos}$			
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado
Bloco	2	19112	10679	9400	1032	37,98	20,63	56,99	28,16
Genótipo (G)	9	11034 ^{ns}	29035 ^{ns}	92418*	34977*	196,97***	366,68***	192,57*	53,11 ^{ns}
Doses N (N)	1	59384**	14192 ^{ns}	19147 ^{ns}	13995 ^{ns}	7,76 ^{ns}	56,56 ^{ns}	140,12 ^{ns}	246,60*
G x N	9	7584 ^{ns}	16346 ^{ns}	25740 ^{ns}	16237 ^{ns}	31,49 ^{ns}	81,27 ^{ns}	37,25 ^{ns}	78,91*
Resíduo	38	7074	19679	39881	13354	23,90	87,65	75,25	36,30
CV (%)		14,7	29,8	27,1	20,7	12,75	20,63	28,08	16,3

Fator	Tratamento	$EUtN_{MSPA}$ ($kg^2 g^{-1} ha^{-1}$)				$EUtN_{Grãos}$ ($kg kg^{-1}$)			
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado
Genótipo (G)	BRS Sanhaço	505	446	598 b	517 b	42,7 a	50,5 a	30,2 a	37,6
	BRS Graúna	594	503	843 a	628 a	40,2 a	47,3 a	32,4 a	40,7
	BRS Gaivota	613	527	642 b	504 b	38,3 a	45,1 a	23,8 b	35,7
	BRS Gralha-Azul	503	446	842 a	584 a	37,7 a	48,1 a	27,2 b	36,0
	TBIO Sinuelo	568	424	792 a	540 b	40,8 a	51,5 a	30,3 a	37,8
	TBIO Mestre	536	490	709 a	519 b	40,9 a	47,1 a	31,3 a	35,0
	TBIO Sossego	583	504	799 a	551 b	38,3 a	44,5 a	36,7 a	40,6
	TBIO Sintonia	607	570	854 a	671 a	37,7 a	43,4 a	38,4 a	39,5
	TBIO Toruk	590	314	487 b	420 b	23,2 b	24,7 b	21,3 b	30,8
	Quartzo	618	482	803 a	651 a	43,7 a	51,7 a	37,3 a	37,2
Doses N (N)	40	603 a	486	755	574	38,7	46,4	32,4	39,1
	120	540 b	455	719	543	38,0	44,4	29,4	35,1

GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. ns, *, ** e *** = não significativo, significativo a $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ e $P \leq 0,001$, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesmas letras na coluna, para os fatores genótipo ou doses de N, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$) ou pelo teste F ($P \geq 0,05$ de acordo com a análise de variância), respectivamente.

A $EUtN_{Grãos}$ foi maior com a adição de 40 $kg ha^{-1}$ de N para as cultivares BRS Gralha-Azul e TBIO Toruk em Londrina-irrigado (Tabela 9). Por outro lado, a $EUtN_{Grãos}$ não foi influenciada pelos genótipos na dose de 40 $kg ha^{-1}$ de N; embora na dose de 120 $kg N ha^{-1}$ as cultivares TBIO Toruk e BRS Gralha-Azul exibiram menor $EUtN_{Grãos}$ em relação às demais.

Tabela 9. Desdobramento da eficiência de utilização de N para rendimento de grãos (E_UtN_{Grãos}) de dez genótipos de trigo cultivados em Londrina-irrigado com duas doses de N.

Genótipos	Dose de N	
	E _U tN _{Grãos}	
	Londrina-irrigado	
	40	120
BRS Sanhaço	38,6 aA	36,6 aA
BRS Graúna	41,9 aA	39,6 aA
BRS Gaivota	34,3 aA	37,1 aA
BRS Galha-Azul	42,0 aA	30,0 bB
TBIO Sinuelo	33,9 aA	41,7 aA
TBIO Mestre	36,2 aA	33,7 aA
TBIO Sossego	44,0 aA	37,1 aA
TBIO Sintonia	40,5 aA	38,5 aA
TBIO Toruk	39,8 aA	21,7 bB
Quartzo	39,8 aA	34,6 aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha (individualmente para cada local), não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$) ou pelo teste t ($P \geq 0,05$), respectivamente.

A E_UtN_{MSPA} e E_UtN_{Grãos} tendem a diminuir com doses crescentes de N, pois a planta pode não absorver o N aplicado em excesso ou, se absorvido, o N não será completamente convertido em produção de MSPA e grãos, sendo considerado um “consumo de luxo” da planta, podendo inclusive causar toxidez às células (BECHE et al., 2014). Todeschini et al. (2016), avaliando a eficiência nutricional de N em trigo, constataram que a E_UtN foi reduzida com o aumento das doses de N (até 231 kg ha⁻¹ de N), corroborando os resultados obtidos no presente trabalho.

Os resultados obtidos reforçam o argumento de Benin et al. (2012) de que os genótipos brasileiros de trigo respondem distintamente às condições de disponibilidade de N. Cultivares que absorveram mais N (e com maior teor e/ou conteúdo de N na MSPA), como a TBIO Toruk, tiveram menores E_UtN_{MSPA} e E_UtN_{Grãos}. Por outro lado, cultivares com menor teor e/ou conteúdo de N na MSPA, como a Quartzo, a BRS Graúna e a TBIO Sintonia, apresentaram maior E_UtN. Isto significa que essas cultivares precisam de uma menor quantidade de N para a produção de biomassa e de grãos em comparação a TBIO Toruk. Semelhantemente aos resultados obtidos, Beche et al. (2014) estudando a eficiência de utilização de N em cultivares de trigo, observaram que os genótipos modernos apresentaram maior

EUtN do que genótipos pioneiros, com destaque para a cultivar Quartzo, que mostrou-se eficiente na utilização de N e mais tolerante a ambientes com baixa disponibilidade deste nutriente.

É importante ressaltar que, além do genótipo, a EUtN também é influenciada pelo manejo, pelo ambiente de cultivo e pela interação entre eles (CRUSCIOL et al., 2003; BECHE et al., 2014; TODESCHINI et al., 2016). Portanto, outros fatores devem ser considerados, além da escolha de cultivares com elevada EUtN, para a obtenção de elevados rendimentos com menor gasto econômico com fertilizantes e com mínimos prejuízos ambientais.

3.5.3. Correlações entre as variáveis

As variáveis de crescimento, produção de grãos e nutricionais apresentaram correlações significativas entre si, com destaque para rendimento de grãos que apresentou forte correlação positiva com a densidade de espigas (0,63), com a altura de plantas (0,69) e com a EUtN_{Grãos} (0,64) (Tabela 10). A altura de plantas também apresentou forte correlação positiva com a EUtN_{Grãos} (0,54). De forma semelhante, Pias et al. (2016) trabalhando com trigo, também observaram forte correlação positiva do rendimento de grãos com a altura de plantas e com a densidade de espigas. Quanto às correlações com a EUtN_{Grãos}, estes resultados comprovam o argumento de que cultivares com maior EUtN são mais produtivas e, portanto, mais requeridas no cenário agrícola atual, pois proporcionam menor gasto econômico com fertilizantes e reduzem os impactos ambientais (BECHE et al., 2014).

A MSPA apresentou correlação positiva com o conteúdo de N na MSPA (0,70) e com a EUtN_{MSPA} (0,81), e negativa com a EUtN_{Grãos} (-0,53) (Tabela 10). Esta correlação negativa indica que quanto maior a MSPA menor será a EUtN para produção de grãos, ou seja, ao priorizar a alocação de fotoassimilados para produção de biomassa vegetal, a planta pode reduzir seu rendimento de grãos.

O teor de N na MSPA apresentou alta correlação negativa com a EUtN_{MSPA} (-0,74) (Tabela 10), o que explica os resultados obtidos para a TBIO Toruk, de que quanto maior a absorção de N, menor é a eficiência de produção de MSPA por unidade de N absorvido.

As outras correlações observadas, mesmo que significativas, são consideradas de menor expressão ($\leq 0,50$) (COHEN, 1988), e portanto, não foram exploradas e discutidas.

Tabela 10. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre variáveis⁽¹⁾ de crescimento, produção de grãos e nutricionais de dez genótipos de trigo cultivados em quatro ambientes (Cascavel, Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio (N).

Variável	RG	DE	ALT	ACAM	MSPA	N _{MSPA}	CN _{MSPA}	EUtN _{MSPA}
DE	0,63***							
ALT	0,69***	0,43***						
ACAM	-0,34***	-0,11*	-0,15**					
MSPA	0,05 ^{ns}	0,22***	0,03 ^{ns}	0,12*				
N _{MSPA}	0,48***	0,27***	0,11*	-0,38***	-0,27***			
CN _{MSPA}	0,40***	0,38***	0,11*	-0,17**	0,70***	0,47***		
EUtN _{MSPA}	-0,28***	0,01 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,28***	0,81***	-0,74***	0,17**	
EUtN _{Grãos}	0,64***	0,28***	0,54***	-0,22***	-0,53***	0,10 ^{ns}	-0,40***	-0,43***

⁽¹⁾Rendimento de grãos (RG), densidade de espigas (DE), altura de plantas (ALT), acamamento de plantas (ACAM), matéria seca da parte aérea (MSPA), teor de N na MSPA (N_{MSPA}), conteúdo de N na MSPA (CN_{MSPA}), eficiência de utilização de N para produção de matéria seca da parte aérea (EUtN_{MSPA}) e para rendimento de grãos (EUtN_{Grãos}). ^{ns}, *, ** e ***: não significativo, significativo a P <0,05, P <0,01 e P <0,001 pelo teste t, respectivamente (n = 240 pares de registros para cada correlação).

Os resultados obtidos no presente estudo, principalmente para rendimento de grãos, evidenciam o elevado potencial produtivo do trigo e a possibilidade de aumento da produção nacional através da exploração do potencial genético da cultura, que inclui a utilização de cultivares mais adaptadas, com maior eficiência nutricional e mais produtivas para cada região de cultivo, planejamento de safra e adubação equilibrada, principalmente com nitrogênio. Isto porque, o N demonstrou ser um nutriente muito importante para o trigo, mas que apresenta uma dinâmica muito complexa no solo e na planta, por isso, o manejo deste elemento deve ser feito com cautela. Além disso, outros fatores ainda podem ser explorados, como aplicação de outras doses de N em conjunto com outros nutrientes, utilização de outras fontes deste elemento, entre outros, a fim de garantir maiores produtividades

e, conseqüentemente, elevar a produção nacional da cultura de forma a atender à demanda.

3.6 CONCLUSÕES

A dose de 120 kg ha⁻¹ de N favorece o desempenho produtivo e a absorção de nitrogênio do trigo, mas proporciona maior acamamento de plantas e menor eficiência de utilização de nitrogênio para produção de massa seca da parte aérea e para rendimento de grãos

A resposta dos genótipos às doses de N varia em função das características edafoclimáticas dos ambientes de cultivo.

As cultivares Quartzo e TBIO Toruk apresentam o melhor e o pior desempenho produtivo e eficiência de utilização de N, respectivamente, em todos os ambientes de cultivo.

Cultivares com maior eficiência de utilização de N (EUtN) apresentam maior rendimento de grãos.

Cultivares com maior absorção e concentração de N na matéria seca da parte aérea apresentam menor eficiência de utilização de N (EUtN).

3.7 REFERÊNCIAS

BASSOI, M.C.; FOLONI, J.S.S. **Cultivar de trigo BRS Gaivota**: características e desempenho agrônômico. Londrina, PR: Embrapa, 2015a. 6 p. (Comunicado Técnico, 81).

BASSOI, M.C.; FOLONI, J.S.S. **Cultivar de trigo BRS Galha-Azul**: características e desempenho agrônômico. Londrina, PR: Embrapa, 2015b. 6 p. (Comunicado Técnico, 82).

BASSOI, M.C.; FOLONI, J.S.S. **Cultivar de trigo BRS Graúna**: características e desempenho agrônômico. Londrina, PR: Embrapa, 2016. 7 p. (Comunicado Técnico, 89).

BASSOI, M.C.; FOLONI, J.S.S.; SILVA, S.R. **Cultivar de trigo BRS Sanhaço**: características e desempenho agrônômico. Londrina, PR: Embrapa, 2017. 12 p. (Comunicado Técnico, 93).

BECHE, E.; BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; DALLÓ, S.C.; SASSI, L.H.S.; OLIVEIRA, R. Eficiência de uso de nitrogênio em cultivares de trigo pioneiras e modernas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 948-957, 2014.

BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; BECHE, E.; PAGLIOSA, E.S.; SILVA, C.L.; PINNOW, C. Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, n. 3, p. 275-283, 2012.

CBPTT – Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. **Informações técnicas para trigo e triticale: safra 2016**. Passo Fundo, RS: Biotrigo Genética/CBPTT, 2016. 228 p.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. 2nd. ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1988. 567 p.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2020/21**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, v. 8, n. 7, 2021. 116 p.

COSTA, L.; ZUCARELI, C.; RIEDE, C.R. Parcelamento da adubação nitrogenada no desempenho produtivo de genótipos de trigo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 215-224, 2013.

CRUSCIOL, C.A.C.; ARF, O.; SORATTO, R.P.; ANDREOTTI, M.; RODRIGUES, R.A.F. Absorção, exportação e eficiência de utilização de nutrientes pela cultura do arroz de terras altas em função de lâminas de água aplicadas por aspersão. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 97-102, 2003.

CRUZ, P.J.; CARVALHO, F.I.F.; SILVA, S.A.; KUREK, A.J.; BARBIERI, R.L.; CARGNIN, A. Influência do acamamento sobre o rendimento de grãos e outros caracteres em trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 1, p. 05-08, 2003.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi adaptadas às regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste**. Teresina, PI: EMBRAPA Meio Norte, 2009. 12 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Informações técnicas para trigo e triticale – safra 2017**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2017. 240 p.

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

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

FOLONI, J.S.S.; BASSOI, M.C.; SILVA, S.R. **Indicações fitotécnicas para cultivares de trigo da Embrapa no Paraná**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2016. (Circular Técnica; 117).

NEUMANN, M.; OLIVEIRA, M. R.; SPADA, C. A.; FIGUEIRA, D. N.; POCZYNEK, M. Componentes de rendimento e produção da planta de cevada em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 2, n. 3, p. 61-68, 2009.

PAGLIOSA, E.E.; BENIN, G.; BIEZUS, E.; BECHE, E.; SILVA, C.L.; MARCHESE, J.A.; MARTIN, T.N. Trinexapac-ethyl e adubação nitrogenada na cultura do trigo. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 623-630, 2013.

PIAS, O.H.C.; DAMIAN, J.M.; CHERUBIN, M.R.; SANTI, A.L. Variáveis biométricas e componentes produtivos da cultura do trigo: mapeamento e correlação entre variáveis. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 3, p. 227-236, 2016.

PIETRO-SOUZA, W.; BONFIM-SILVA, E.M.; SCHLICHTING, A.F.; SILVA, M.C. Desenvolvimento inicial de trigo sob doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 575-580, 2013.

PRANDO, A.M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; OLIVEIRA, F.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 34-41, 2013.

R CORE TEAM (2020). **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Available online at <https://www.R-project.org/>

RONSANI, S.C.; PIVA, J.T.; FIOREZE, S.L.; BASSO, K.C.; RIBEIRO, R.H.; BESEN, M.R. Adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca de cultivares de trigo de duplo propósito. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 2, p. 174-181, 2018.

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

SIDDIQUI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: A modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, C.L.; BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; TODESCHINI, M.H.; DALLO, S.C.; SASSI, L.H.S. Characterization of Brazilian wheat cultivars in terms of nitrogen use efficiency. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 87-96, 2014.

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.

TODESCHINI, M.H.; MILIONI, A.S.; TREVIZAN, D.M.; BORNHOFEN, E.; FINATTO, T.; STORCK, L.; BENIN, G. Eficiência de uso do nitrogênio em cultivares modernas de trigo. **Bragantia**, v. 75, n. 3, p. 351-361, 2016.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Production**. 2020. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.

VIANA, E.M.; KIEHL, J.C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 975-982, 2010.

WIETHÖLTER, S. Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G.R. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: EMBRAPA Trigo, 2011. p. 135-185.

ZADOKS, J. C., CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v. 14, n. 6, p. 415-421, 1974.

4 ARTIGO B

ADUBAÇÃO NITROGENADA: II. QUALIDADE TECNOLÓGICA DE GRÃOS E FARINHA DE CULTIVARES DE TRIGO

4.1 RESUMO

A adubação nitrogenada pode influenciar a qualidade tecnológica de grãos e farinha de trigo, o que depende do genótipo, do ambiente e da interação entre estes fatores. O objetivo do estudo foi avaliar os efeitos de doses de nitrogênio (N) sobre a qualidade tecnológica de grãos e farinha de cultivares de trigo. O experimento foi conduzido em três ambientes: Londrina em condições de sequeiro e irrigado e Ponta Grossa em sequeiro, em delineamento de blocos casualizados, com três repetições, em arranjo fatorial 10 × 2, sendo dez genótipos de trigo (BRS Sanhaço, BRS Graúna, BRS Gaivota, BRS Gralha-Azul, TBIO Sinuelo, TBIO Mestre, TBIO Sossego, TBIO Sintonia, TBIO Toruk e Quartzo) e 2 doses de N (40 e 120 kg ha⁻¹), aplicadas em cobertura. Foram avaliados o peso hectolítrico (PH), a massa de mil grãos (MMG), a extração experimental de farinha (EXT), o número de queda (NQ), a proteína total do grão (PTG), a tenacidade (P), a extensibilidade (L), a relação P/L, o glúten úmido (GU), a força de glúten (W) e o índice de elasticidade (IE). Os dados foram submetidos à análise de variância, separadamente para cada ambiente, sendo os genótipos comparados pelo teste de Scott-Knott e a adubação nitrogenada pelo teste F. Também foi realizada a análise de correlação de Pearson entre as variáveis avaliadas nos três ambientes. A dose de 120 kg ha⁻¹ de N elevou a PTG nos três ambientes e a porcentagem de GU em Londrina em condições de sequeiro e irrigado. A adubação nitrogenada não influenciou o W das cultivares. A P apresentou correlação positiva com NQ e com W, e negativa com a EXT. A relação P/L exibiu correlação positiva com P e negativa com L. A PTG mostrou correlação positiva com GU, mas não com W. A qualidade tecnológica dos grãos e farinha de trigo depende da interação dose de N × genótipo × ambiente.

Palavras-chave: Genótipos. Glúten. Nitrogênio. Teor de proteína. *Triticum aestivum*.

NITROGEN FERTILIZATION: II. EFFECTS ON THE TECHNOLOGICAL QUALITY OF GRAINS AND FLOUR OF WHEAT CULTIVARS

4.2 ABSTRACT

Nitrogen (N) fertilization can influence significantly the technological quality of grains and wheat flour, which depend on the genotype, the environment and the interaction between these factors. The objective of the study was to evaluate the effects of doses of N on the technological quality of grains and flour of wheat cultivars. The experiment was conducted in three environments: Londrina, under rainfed and irrigated conditions, and Ponta Grossa in rainfed, in a randomized block design, with three replications, in a 10 × 2 factorial arrangement, being ten wheat genotypes (BRS Sanhaço, BRS Graúna, BRS Gaivota, BRS Gralha-Azul, TBIO Sinuelo, TBIO Mestre, TBIO Sossego, TBIO Sintonia, TBIO Toruk e Quartzo) and 2 doses of N (40 and 120 kg ha⁻¹), applied in top dressing. Hectoliter weight (HW), thousand grains weight (TGW), experimental flour extraction (EXT), falling number (FN), total protein content of the grain (TPCG), tenacity (P), extensibility (L), relation P/L, wet gluten (WG), gluten strength (W) and elasticity index (IE) were evaluated. The data were submitted to analysis of variance, separately for each environment, being the genotypes compared by the Scott-Knott test and N fertilization by the F test. Pearson's correlation analysis was also performed between the variables evaluated in the three environments. The rate of 120 kg ha⁻¹ N increased TPCG in the three environments and the percentage of WG in Londrina, under rainfed and irrigated conditions. Nitrogen fertilization did not influence the W of the cultivars. Tenacity showed a positive correlation with FN and W, and a negative correlation with EXT. The relation P/L presented a positive correlation with P and a negative with L. TPCG showed a positive correlation with WG, but not with W. The technological quality of grains and flour of wheat depending on the N rate × genotype × environment interaction.

Key words: Genotypes. Gluten. Nitrogen. Protein content. *Triticum aestivum*.

4.3 INTRODUÇÃO

A qualidade tecnológica de grãos e farinha de trigo é definida pelo genótipo, pelo ambiente e pela interação genótipo x ambiente, que incluem as condições de solo, clima, pragas, práticas de manejo da cultura e as operações de colheita, secagem e armazenamento (COSTA et al., 2008). Nesse sentido, o fornecimento dos nutrientes essenciais é fundamental para o adequado crescimento e desenvolvimento da planta de trigo, favorecendo a produtividade e a qualidade de grãos.

Dentre os nutrientes fornecidos via fertilização, o nitrogênio (N) se destaca, por ser um dos elementos exigidos em maior quantidade pelas culturas, principalmente pelo trigo, exercendo grande influência sobre a produtividade e a qualidade do grão produzido. Além disso, plantas bem nutridas formam grãos de melhor qualidade e com elevados teores nutricionais, adequados ao mercado consumidor e, principalmente, à indústria, que exige matéria prima de qualidade para a produção, em especial de farinha (SILVA et al., 2015; MATTUELLA et al., 2018).

Grãos de trigo maduros apresentam em sua composição de 8 a 20% de proteínas, incluindo o glúten, que é responsável pela funcionalidade das farinhas (FRANCESCHI et al., 2009). Para a formação desse teor proteico, é necessário a adequada disponibilidade de N e água no solo, além de outros fatores que favoreçam a absorção desse nutriente, pois, durante a fase de enchimento de grãos, o N acumulado pela planta é remobilizado preferencialmente para a formação de amido e, posteriormente, para elevar a concentração proteica dos grãos (KOLCHINSKI; SCHUCH, 2004).

Espindula et al. (2010) estudando a composição mineral de grãos de trigo submetidos a doses de sulfato de amônio, observaram que a adubação nitrogenada elevou a qualidade nutricional dos grãos pelo incremento da concentração de proteínas e de outros nutrientes. Altenbach et al. (2011) também verificaram aumento no teor de proteínas dos grãos de trigo, decorrente da adubação nitrogenada realizada no período pós-antese. Da mesma forma, Souza et al. (2019) constataram em seu trabalho que o aumento das doses de N até 120 kg ha⁻¹, proporcionou um acréscimo linear no teor de proteína e nas cinzas dos grãos de trigo, favorecendo a qualidade tecnológica.

Apesar do genótipo e das condições de ambiente influenciarem a resposta do trigo à adubação nitrogenada, podendo ser mais ou menos responsivo, a importância do N para a cultura é um consenso entre os autores, já que a deficiência deste nutriente resulta em plantas de menor porte, com poucos perfilhos, desenvolvimento lento, baixo rendimento e baixo teor proteico (CAMPONOVARA et al., 2016; SILVA et al., 2015; MATTUELLA et al., 2018; SOUZA et al., 2019). No entanto, o aumento da força de glúten da farinha, em virtude do aumento da concentração de proteínas promovido pela aplicação de N, a ponto de modificar a classificação comercial do trigo, ainda é incerto, devido à discrepância entre os resultados encontrados na literatura.

Cazetta et al. (2008), trabalhando com adubação nitrogenada em genótipos de trigo, verificaram que o teor de proteína dos grãos e a força de glúten aumentaram linearmente com o aumento das doses de N em todas as cultivares. Por sua vez, Pinnow et al. (2013) também verificaram efeito positivo da adubação nitrogenada sobre a força de glúten e o percentual de glúten úmido e seco em grãos de trigo. Por outro lado, Schmidt et al. (2009) e Bassoi; FOLONI (2012) trabalhando com genótipos de trigo brasileiros, não observaram incremento da força de glúten da farinha, mesmo com o aumento do teor de proteínas dos grãos em virtude da adubação nitrogenada. Esses resultados indicam a necessidade de estudos a fim de esclarecer se essa discrepância está relacionada ao genótipo e à sua interação com o ambiente.

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de doses de nitrogênio sobre a qualidade tecnológica de grãos e farinha de cultivares de trigo.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

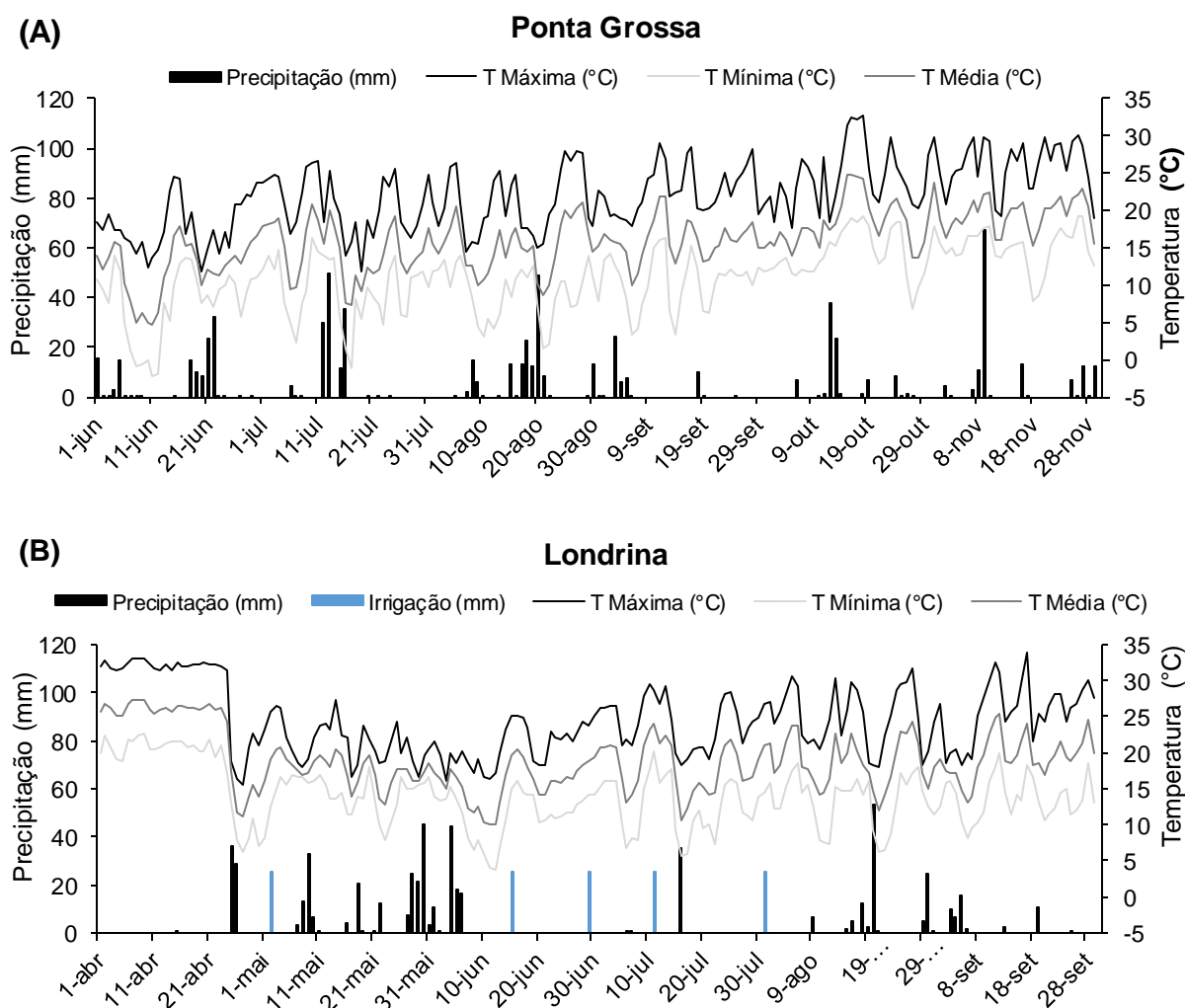
O experimento foi realizado em três ambientes: Ponta Grossa, em condição de sequeiro, e em Londrina, em condições de sequeiro e irrigado, situados nas macrorregiões I e III, respectivamente, de adaptação da cultura do trigo (FOLONI; BASSOI; SILVA, 2016). Em Ponta Grossa, o experimento foi desenvolvido em uma fazenda experimental da Embrapa Soja (25°09'31" S, 50°04'22" W; altitude de 886 m). O relevo é suavemente ondulado e o solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distroférrico de textura média; o clima regional é subtropical úmido (Cfb) mesotérmico, com verão ameno, com temperatura média anual de 17,5 °C,

precipitação média anual de 1.495 mm, com chuvas bem distribuídas e geadas frequentes.

Em Londrina, os ensaios também foram conduzidos na fazenda experimental da Embrapa Soja (23°11'37" S, 51°11'03" W; altitude de 628 m). O relevo é suavemente ondulado e o solo da área experimental é um Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa; o clima regional, de acordo com a classificação de Köppen, é subtropical úmido (Cfa), com verão quente e chuvoso, com temperatura e precipitação médias anuais de 21,2 °C e 1.392 mm, respectivamente, geadas pouco frequentes e sem estação seca definida.

Os dados meteorológicos durante o período de cultivo são apresentados na Figura 1.

Figura 1. Médias diárias de temperaturas (média, máxima e mínima) e precipitação pluvial durante o período de condução dos experimentos em Ponta Grossa (A) e Londrina (B).



Previamente à instalação dos experimentos, foram coletadas amostras de solo das áreas experimentais nas camadas de 0–10 e 10–20 cm para análises químicas e físicas, sendo os resultados apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e física dos solos (camadas de 0–10 e 10–20 cm) das áreas experimentais de Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado.

Camada cm	pH ⁽¹⁾	CO ⁽²⁾ g dm ⁻³	P ⁽³⁾ --mg dm ⁻³ --	K ⁽³⁾	Al ⁽⁴⁾	Ca ⁽⁴⁾	Mg ⁽⁴⁾	H+Al ⁽⁵⁾	CTC ⁽⁶⁾	V ⁽⁷⁾ %	Dsolo ⁽⁸⁾ g cm ⁻³	Argila	Silte	Areia
Ponta Grossa														
0–10	4,63	23,9	11,2	121	0,16	2,84	0,99	5,72	9,85	42,0	1,29	526	77	397
10–20	4,77	22,8	4,7	133	0,06	3,03	1,12	5,59	10,09	45,0	1,10	570	65	365
Londrina-sequeiro														
0–10	5,44	15,2	34,0	214	0,00	4,38	2,48	4,21	11,61	63,6	1,32	732	161	107
10–20	5,45	15,5	30,2	199	0,00	4,48	2,48	4,48	11,94	62,5	1,31	762	146	92
Londrina-irrigado														
0–10	5,67	15,7	44,5	195	0,00	5,05	2,34	4,06	11,95	66,0	1,32	732	161	107
10–20	5,58	15,9	36,5	147	0,00	4,74	2,09	4,48	11,69	61,6	1,31	762	146	92

⁽¹⁾Potencial hidrogeniônico (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹). ⁽²⁾Carbono orgânico do solo. ⁽³⁾Fósforo disponível e potássio trocável (Mehlich-1). ⁽⁴⁾Alumínio, cálcio e magnésio trocáveis (KCl 1 mol L⁻¹). ⁽⁵⁾Acidez potencial (acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0). ⁽⁶⁾Capacidade de troca catiônica. ⁽⁷⁾Saturação por bases. ⁽⁸⁾Densidade aparente do solo.

Os ensaios foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados, com três repetições, contemplando o arranjo fatorial 10 × 2, sendo dez cultivares de trigo (BRS Sanhaço, BRS Graúna, BRS Gaivota, BRS Galha-Azul, TBIO Sinuelo, TBIO Mestre, TBIO Sossego, TBIO Sintonia, TBIO Toruk e Quartzo) e duas doses de N (40 e 120 kg ha⁻¹), aplicadas em cobertura.

As cultivares apresentam predominantemente ciclo de desenvolvimento médio, com exceção da TBIO Sintonia e da Quartzo, que são mais precoces, e da TBIO Sinuelo cujo ciclo varia de médio a tardio. Além disso, a maioria das cultivares apresenta altura entre 75 a 100 cm e, portanto, são classificadas como de porte médio, exceto a TBIO Toruk e TBIO Mestre que apresentam porte baixo e médio/baixo, respectivamente. Quanto à resistência ao acamamento, somente a BRS Galha-Azul e a TBIO Sossego são classificadas como suscetível e moderadamente suscetível, respectivamente, sendo as outras cultivares resistentes ou moderadamente resistentes. Quanto à classificação comercial, a TBIO Sintonia é

classificada como trigo melhorador e a TBIO Mestre e a TBIO Toruk como trigo pão/melhorador, sendo o restante dos genótipos classificados como trigo pão (BASSOI; FOLONI, 2015a; BASSOI; FOLONI, 2015b; BASSOI; FOLONI, 2016; BASSOI; FOLONI; SILVA, 2017; EMBRAPA, 2017).

Cada parcela experimental foi composta por 9 linhas de semeadura com 6 m de comprimento, espaçadas 0,18 m entre si, totalizando 9,6 m². O trigo foi semeado (Londrina sequeiro e irrigado = 29/04 e Ponta Grossa = 09/06) sobre palhada de soja, em sistema de plantio direto, em sulcos a aproximadamente 4 cm de profundidade, com densidade de semeadura de 350 sementes viáveis m⁻². As parcelas receberam uma adubação de base no sulco de semeadura composta por 250 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 08-28-16 (N-P₂O-K₂O) (CBPTT, 2016). Os tratamentos com adubação nitrogenada em cobertura foram aplicados no início do perfilhamento da cultura (estádios fenológicos Z22-Z23 da escala de ZADOKS; CHANG; KONZAC, 1974), utilizando o nitrato de amônio (32% de N).

Para o ambiente com suplementação hídrica de Londrina, as irrigações foram realizadas de acordo com a umidade do solo, medida indiretamente por meio de um conjunto de tensiômetros, sendo aplicadas cinco lâminas de 25 mm de água durante todo o ciclo da cultura.

O manejo fitossanitário e os outros tratos culturais foram realizados baseados nas indicações da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (CBPTT, 2016).

A colheita do experimento (Londrina sequeiro e irrigado = 16/09 e Ponta Grossa = 03/11) foi realizada nas 7 linhas centrais × 6 m de comprimento com uma colhedora automotriz desenvolvida para experimentação agrônômica (Wintersteiger®). Imediatamente após a colheita, foram amostrados 2 kg de grãos de cada parcela experimental para as análises tecnológicas de grãos e de farinha. As amostras foram mantidas em câmara fria (7–10 °C) até a realização das seguintes análises laboratoriais:

Peso hectolítrico (PH): determinado através da massa de 100 litros, expressa em quilogramas por hectolitro (kg hL⁻¹), de acordo com a metodologia descrita nas Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009).

Massa de mil grãos (MMG): obtida mediante a contagem e pesagem de oito repetições de 100 grãos de trigo por parcela. Posteriormente, foi calculada a massa de mil grãos de acordo com as RAS (BRASIL, 2009).

Extração experimental de farinha (EXT): determinado em moinho experimental, pelo método 26-10.02, da American Association of Cereal Chemists (AACC) International (2011).

Número de queda (NQ): determinado pelo aparelho Falling Number Perten Instruments®, de acordo com o método de análise 56-81.03, da AACC International (2011), sendo os resultados expressos em segundos.

Proteína total do grão (PTG): determinada através do método de análise 39-10.01, da AACC International (2011).

Alveografia: determinado pelo método de análise 54-30.02 da AACC International (2011), realizada em alveógrafo marca Chopin®. Foram considerados os seguintes parâmetros: força de glúten (W), tenacidade (P), extensibilidade (L), relação entre a tenacidade e a extensibilidade (P/L) e índice de elasticidade (IE).

Glúten úmido (GU): determinado pelo método de análise 38-12.02, da AACC International (2011), realizado em Sistema Glutomatic, da marca Perten®.

Os dados foram submetidos, por meio do software R (R CORE TEAM, 2020), às análises de normalidade e de homogeneidade de variâncias. Posteriormente, foi realizada a análise de variância (ANOVA) ($P < 0,05$), separadamente para cada ambiente, sendo as médias dos dez tratamentos qualitativos “genótipos de trigo” comparados pelo teste de agrupamento de Scott-Knott ($P < 0,05$), e as médias dos dois tratamentos quantitativos “doses de N” comparadas pelo teste F ($P < 0,05$) diretamente na ANOVA. As variáveis avaliadas nos três ambientes de cultivo também foram submetidas à análise de correlação de Pearson.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O PH foi influenciado pelos genótipos nos três ambientes de cultivo (Tabela 2). Em Ponta Grossa, as cultivares BRS Sanhaço, BRS Gaivota, BRS Galha-Azul e TBIO Sintonia tiveram maior PH e a TBIO Toruk o menor. Por outro lado, em Londrina-sequeiro, a TBIO Toruk juntamente com a TBIO Sinuelo, BRS Sanhaço e TBIO Sossego apresentaram os maiores valores de PH, enquanto as cultivares BRS Graúna e TBIO sintonia, seguidas da TBIO Mestre, tiveram menor PH. Em Londrina-irrigado, o comportamento das cultivares foi, com raras exceções, semelhante ao ambiente de Londrina-sequeiro.

Tabela 2. Resumo da análise de variância e médias do peso hectolítrico, massa de mil grãos, extração experimental de farinha (EXT) e número de queda de dez genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio (N).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio											
		Peso hectolítrico			Massa de mil grãos			EXT			Número de queda		
		Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado
Bloco	2	2,95	0,58	4,27	3,18	3,38	1,15	0,98	2,13	7,27	3164	2890	1731
Genótipo (G)	9	23,9 ^{***}	8,91 ^{***}	4,87 ^{**}	5,23 ^{ns}	13,04 ^{***}	9,01 ^{**}	24,8 ^{***}	21,4 ^{***}	40,4 ^{***}	15405 ^{***}	7143 ^{***}	18021 ^{***}
Doses de N (N)	1	0,38 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,00 ^{ns}	5,46 ^{ns}	3,31 ^{ns}	0,17 ^{ns}	9,26 ^{ns}	11,5 ^{**}	24,4 ^{ns}	1050 ^{ns}	459 ^{ns}	516 ^{ns}
G x N	9	1,04 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,95 ^{ns}	3,02 ^{ns}	1,40 ^{ns}	3,42 ^{ns}	1,76 ^{ns}	1,15 ^{ns}	2854 ^{ns}	599 ^{ns}	2837 ^{ns}
Resíduo	38	1,95	0,27	1,31	3,85	2,80	2,54	4,00	1,06	6,15	2151	1546	1945
CV (%)		1,81	0,66	1,46	5,09	4,79	4,64	3,40	1,65	4,04	11,3	12,0	11,3

Fator	Tratamento	Peso hectolítrico (kg hL ⁻¹)			Massa de mil grãos (g)			EXT (%)			Número de queda (s)		
		Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado
Genótipo (G)	BRS Sanhaço	79,2 a	79,8 a	79,4 a	39,5	36,2 a	35,3 a	57,3 b	60,4 d	60,6 c	433 a	336 a	440 a
	BRS Graúna	77,6 b	76,7 d	77,2 b	39,9	35,6 a	36,8 a	56,0 b	62,3 c	59,5 d	402 a	281 b	377 b
	BRS Gaivota	78,2 a	78,9 b	79,4 a	38,1	33,0 b	34,8 a	60,1 a	62,1 c	62,5 b	438 a	317 b	322 c
	BRS Gralha-Azul	79,6 a	78,7 b	77,7 b	38,3	35,7 a	34,1 b	57,3 b	60,2 d	57,7 d	448 a	364 a	416 a
	TBIO Sinuelo	76,4 b	80,0 a	79,3 a	38,0	33,1 b	33,5 b	61,2 a	63,9 b	64,3 a	350 b	329 a	402 a
	TBIO Mestre	77,1 b	77,6 c	77,4 b	39,1	33,7 b	32,8 b	58,3 b	60,6 d	58,3 d	455 a	336 a	457 a
	TBIO Sossego	76,7 b	79,5 a	78,6 a	38,3	34,0 b	33,4 b	58,7 b	61,2 d	61,0 c	462 a	379 a	457 a
	TBIO Sintonia	78,6 a	76,8 d	77,1 b	37,5	34,3 b	33,2 b	56,3 b	64,0 b	61,5 c	412 a	269 b	298 c
	TBIO Toruk	72,5 c	79,5 a	78,8 a	37,2	37,2 a	35,3 a	61,2 a	65,9 a	66,2 a	302 b	308 b	358 b
	Quartzo	77,2 b	79,1 b	78,3 a	39,7	36,4 a	34,4 b	61,1 a	63,5 b	62,1 b	391 a	349 a	370 b
Doses de N (N)	40	77,4	78,6	78,3	38,8	34,7	34,3	58,3	62,0 b	60,7	414	324	387
	120	77,2	78,7	78,3	38,2	35,1	34,4	59,1	62,8 a	62,0	405	330	393

GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. ns, *, ** e *** = não significativo, significativo a $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ e $P \leq 0,001$, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesmas letras na coluna, para os fatores genótipo ou doses de N, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$) ou pelo teste F ($P \geq 0,05$, de acordo com a análise de variância), respectivamente.

O PH é definido por diversas características, que incluem a uniformidade, a forma, a densidade e o tamanho dos grãos e, por isso, é considerado, pela indústria moageira, como indicador de qualidade e utilizado como parâmetro para comercialização do trigo (KARAOĞLU et al., 2010; NUNES et al., 2011). Os valores mínimos estabelecidos, utilizados para definir o tipo de trigo, variam de 70 a 78 kg hL⁻¹ (BRASIL, 2010) e, quanto maior o PH, maior o rendimento de farinha e, portanto, melhor a qualidade do produto (NUNES et al., 2011). Os resultados obtidos indicam que todos os genótipos apresentaram PH dentro dos valores estabelecidos pela legislação brasileira, embora a tipificação (I, II e III) tenha variado. Essa variação pode estar relacionada à capacidade de adaptação dos materiais genéticos aos ambientes de cultivo, pois houve genótipos que exibiram PH elevado em um dado local e reduzido em outra região, como a TBIO Toruk em Londrina irrigado e sequeiro, e a TBIO Sintonia em Ponta Grossa, respectivamente.

A MMG, avaliada em Londrina sequeiro e irrigado, apresentou influência significativa somente de genótipo (Tabela 2). Em Londrina-sequeiro as cultivares Quartzo, BRS Sanhaço, BRS Graúna, BRS Galha-Azul e TBIO Toruk foram superiores às demais. Em Londrina-irrigado, as cultivares BRS Sanhaço, BRS Graúna, BRS Gaivota e TBIO Toruk tiveram maior MMG. Em Ponta Grossa a MMG não foi influenciada pelos fatores estudados.

Semelhante aos resultados obtidos em Londrina (sequeiro e irrigado), Prando et al. (2012), estudando o desempenho agrônômico do trigo, verificaram que a MMG variou em função do genótipo utilizado. Segundo Guarienti et al. (2005), esta característica é controlada geneticamente, no entanto, pode ser influenciada pelas condições de cultivo e de manejo, o que explica os resultados observados.

A MMG em Ponta Grossa foi em média maior do que nas demais regiões. Isto pode ser atribuído às temperaturas mais amenas nesta localidade (Figura 1), que reduzem o metabolismo da planta e aumentam o período de enchimento de grãos (GAJU et al. 2009), o que resulta em maior MMG.

A extração experimental de farinha (EXT) foi influenciada pelo genótipo nos três ambientes pelas doses de N em Londrina-sequeiro (Tabela 2). A TBIO Toruk exibiu desempenho superior nos três locais avaliados, sendo isoladamente a melhor cultivar em Londrina-sequeiro. Em Londrina-irrigado, além da TBIO Toruk, a TBIO Sinuelo também apresentou elevado EXT. Em Ponta Grossa, além dos dois genótipos citados, as cultivares Quartzo e BRS Gaivota também se

destacaram positivamente. Quanto às doses de N, constatou-se que aplicação de 120 kg ha⁻¹ favoreceu a EXT somente em Londrina-sequeiro. Nos outros ambientes, não foi observado efeito significativo de doses de N.

A EXT é uma avaliação utilizada para analisar o rendimento da farinha e a dureza dos grãos utilizados como matéria prima e, como a dureza é uma característica que varia entre os genótipos (GUTKOSKI et al., 2007), a moagem experimental também foi influenciada pelas cultivares.

A resposta positiva da EXT ao aumento da adição de N em Londrina-sequeiro pode estar relacionada à menor disponibilidade do nutriente induzida por déficit hídrico neste local. A maior oferta de N via fertilização favorece a formação da semente, especialmente do endosperma, tecido rico em amido do qual é extraída e produzida a farinha de trigo (BARRON; SURGET; ROUAU, 2007).

O NQ foi influenciado somente pelos genótipos nos três ambientes (Tabela 2). Em Ponta Grossa, a maioria das cultivares apresentaram elevados valores de NQ, com exceção da TBIO Sinuelo e TBIO Toruk. As condições edafoclimáticas desta região favoreceram o desempenho da cultura e, conseqüentemente, o NQ.

Em Londrina-sequeiro, as cultivares BRS Graúna, BRS Gaivota, TBIO Sintonia e TBIO Toruk tiveram menor NQ (Tabela 2). Em Londrina-irrigado, a BRS Gaivota e a TBIO Sintonia apresentaram os menores valores de NQ, seguidas das cultivares Quartzo, BRS Graúna e TBIO Toruk, que apresentaram desempenho intermediário.

O NQ avalia a intensidade de atividade da enzima α -amilase no grão. Altos valores de NQ indicam menor atividade dessa enzima e, portanto, melhor será a qualidade do trigo para produção de farinha. Por outro lado, baixos valores de NQ indicam alta atividade da α -amilase, que pode estar relacionado a danos causados pela germinação de grãos na espiga (MÓDENES; SILVA; TRIGUEROS, 2009).

No presente estudo, todas cultivares apresentaram elevados valores para NQ, acima de 250 s, valor mínimo estabelecido para classificação do trigo como melhorador, que corresponde ao trigo de maior qualidade (BRASIL, 2010). Isto indica que, as adequadas condições meteorológicas dos locais avaliados, principalmente próximo à colheita, e os genótipos utilizados, favoreceram esta característica da farinha, mesmo o NQ variando entre as cultivares. Gutkoski et al. (2007), avaliando as características tecnológicas de genótipos de trigo cultivados no Cerrado, constataram que o NQ variou em função da cultivar, semelhantemente aos resultados observados.

A PTG foi influenciada pelos genótipos e doses de N nos três ambientes (Tabela 3). A BRS Gaivota teve elevada PTG nos três locais de cultivo, se destacando em Londrina-sequeiro. Em Londrina-irrigado, a TBIO Mestre também exibiu elevada PTG. Em Ponta Grossa, além das duas cultivares citadas, a BRS Graúna e a TBIO Toruk também se destacaram positivamente. Em contrapartida, a TBIO Sinuelo apresentou o menor valor de PTG nos três ambientes. A cultivar Quartzo apresentou o menor PTG em Ponta Grossa e Londrina-irrigado.

A aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N aumentou a PTG em todos os ambientes comparado com 40 kg ha⁻¹ de N (Tabela 3), no entanto, os incrementos foram baixos, menores do que 1%. Grãos de trigo maduros apresentam, em sua composição, de 8 a 20% de proteínas (FRANCESCHI et al., 2009), sendo assim, os resultados obtidos no presente trabalho estão dentro da faixa esperada.

Para a formação desse teor proteico, é necessária uma boa disponibilidade hídrica, o que foi constatado nos ambientes avaliados que apresentaram precipitações superiores a 450 mm durante o período de cultivo, e de N no solo, inclusive durante a fase de enchimento de grãos, pois o N acumulado pela planta é remobilizado preferencialmente para a formação de amido e, posteriormente, eleva a concentração proteica dos grãos (KOLCHINSKI; SCHUCH, 2004; BARBOTTIN et al., 2005).

Tabela 3. Resumo da análise de variância e médias da proteína total do grão, tenacidade, extensibilidade e da relação entre tenacidade e extensibilidade de dez genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio (N).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio											
		Proteína total do grão			Tenacidade			Extensibilidade			Tenacidade/Extensibilidade		
		Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado
Bloco	2	0,17	0,23	0,22	104	36,5	242	263	257	442	0,14	0,05	0,29
Genótipo (G)	9	2,19***	8,61***	3,69***	2467***	701***	2325***	1001*	391***	776***	0,91**	0,20***	0,93***
Doses de N (N)	1	2,18**	3,67***	8,09***	1067*	77,1 ^{ns}	79,4 ^{ns}	32,3 ^{ns}	0,60 ^{ns}	91,3 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}
G x N	9	0,21 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,15 ^{ns}	185 ^{ns}	80,0 ^{ns}	158 ^{ns}	230 ^{ns}	199*	25,2 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Resíduo	38	0,18	0,13	0,18	233	82,6	142	463	75,2	187	0,29	0,02	0,10
CV (%)		3,18	2,44	3,12	19,6	13,6	15,9	30,5	9,64	16,5	43,6	18,5	32,9

Fator	Tratamento	Proteína total do grão (%)			Tenacidade (mm)			Extensibilidade (mm)			Tenacidade/Extensibilidade		
		Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado	Ponta Grossa	Londrina-sequeiro	Londrina-irrigado
Genótipo (G)	BRS Sanhaço	13,5 b	15,4 b	13,2 c	88,8 b	72,2 b	90,5 b	69,2 b	90,3	72,7 b	1,45 a	0,80 b	1,31 b
	BRS Graúna	13,7 a	15,5 b	14,1 b	84,3 b	62,7 c	65,8 c	79,8 a	89,2	86,7 a	1,11 b	0,71 b	0,78 c
	BRS Gaivota	14,4 a	17,0 a	14,7 a	62,3 c	68,5 b	72,3 c	87,2 a	90,8	91,3 a	0,73 b	0,75 b	0,80 c
	BRS Gralha-Azul	13,2 b	14,5 c	14,1 b	113 a	86,3 a	114 a	61,7 b	87,8	70,7 b	1,90 a	1,01 a	1,71 a
	TBIO Sinuelo	12,9 c	13,0 e	12,6 d	51,2 c	56,3 c	56,7 c	59,2 b	93,8	88,3 a	1,00 b	0,61 c	0,67 c
	TBIO Mestre	14,2 a	15,3 b	14,5 a	91,7 b	71,7 b	88,8 b	83,3 a	95,5	81,5 b	1,16 b	0,76 b	1,16 b
	TBIO Sossego	13,2 b	13,5 d	13,2 c	94,7 b	77,0 b	88,7 b	61,5 b	70,2	63,3 b	1,83 a	1,12 a	1,42 b
	TBIO Sintonia	13,3 b	14,4 c	13,5 c	78,8 b	47,8 d	59,0 c	84,3 a	101,8	93,3 a	1,00 b	0,47 c	0,65 c
	TBIO Toruk	14,0 a	14,7 c	13,4 c	57,5 c	64,3 c	51,2 c	48,3 b	89,2	100 a	1,32 b	0,76 b	0,52 c
	Quartzo	12,5 c	13,5 d	12,4 d	55,8 c	62,5 c	63,3 c	70,8 b	91,0	79,8 b	0,87 b	0,69 b	0,80 c
Doses de N (N)	40	13,3 b	14,4 b	13,2 b	82,0 a	65,8	73,8	71,3	90,1	81,5	1,31	0,75	0,97
	120	13,7 a	14,9 a	13,9 a	73,6 b	68,1	76,1	69,8	89,9	84,0	1,17	0,78	0,99

GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. ns, *, ** e *** = não significativo, significativo a $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ e $P \leq 0,001$, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesmas letras na coluna, para os fatores genótipo ou doses de N, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$) ou pelo teste F ($P \geq 0,05$, de acordo com a análise de variância), respectivamente.

Prando et al. (2012) constataram que o incremento das doses de N até 120 kg ha⁻¹ favoreceu, dentre outras características, o teor proteico dos grãos. Da mesma forma, Espindula et al. (2010), analisando a composição mineral de grãos de trigo submetidos a diferentes doses da adubação nitrogenada, observaram que o N elevou a qualidade nutricional dos grãos pelo incremento da concentração de proteínas e de outros nutrientes. Altenbach et al. (2011) também observaram um aumento no teor de proteínas nos grãos de trigo, decorrente da adubação nitrogenada. Estes trabalhos elucidam a importância do N para a formação do teor proteico dos grãos de trigo, semelhantemente aos resultados obtidos no presente estudo.

No entanto, apesar da maior dose de N proporcionar maiores percentuais de PTG nos três ambientes agrícolas, os incrementos observados não foram substanciais, o que indica que a aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N já é suficiente para garantir elevada porcentagem de proteína no grão.

A tenacidade foi alterada pelas doses de N em Ponta Grossa e pelos genótipos nos três ambientes, com destaque para a BRS Galha-Azul (Tabela 3). As cultivares TBIO Sinuelo, Quartzo e TBIO Toruk exibiram os menores valores de tenacidade nos três locais. Além disso, a TBIO Sintonia também se destacou negativamente em Londrina, principalmente em condição de sequeiro. Além disso, a BRS Gaivota em Ponta Grossa e Londrina-irrigado, e a BRS Graúna em Londrina sequeiro e irrigado, também foram inferiores às outras cultivares. Por fim, quanto ao efeito da adubação nitrogenada em Ponta Grossa, a utilização da menor dose de N (40 kg N ha⁻¹) favoreceu a tenacidade da farinha.

A extensibilidade foi influenciada pela interação entre genótipo e doses de N em Londrina-sequeiro, e pelo genótipo em Ponta Grossa e Londrina-irrigado (Tabela 3). Em Ponta Grossa, as cultivares TBIO Mestre, BRS Graúna, BRS Gaivota e TBIO Sintonia exibiram o melhor desempenho. Em Londrina-irrigado, a BRS Graúna, a BRS Gaivota e a TBIO Sintonia também se destacaram positivamente, assim como a TBIO Sinuelo e a TBIO Toruk que apresentaram maior extensibilidade.

Em Londrina-sequeiro, o aumento das doses de N alterou a extensibilidade das cultivares TBIO Sinuelo e TBIO Toruk, porém de forma contrária, favorecendo somente a primeira cultivar (Tabela 4). Além disso, quando aplicou-se 40 kg ha⁻¹ de N, somente as cultivares Quartzo, BRS Graúna, TBIO Sintonia e TBIO Toruk apresentaram elevado desempenho para extensibilidade. Por outro lado,

quando foi utilizada a dose de 120 kg ha⁻¹ de N a maioria dos genótipos apresentam valores elevados para esta característica, com exceção da TBIO Sossego, da BRS Graúna e da TBIO Toruk, que foram inferiores às demais.

Tabela 4. Desdobramento da extensibilidade de dez genótipos de trigo cultivados em Londrina-sequeiro com duas doses de nitrogênio (N).

Genótipos	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)	
	Extensibilidade (mm)	
	Londrina-sequeiro	
	40	120
BRS Sanhaço	85,0 bA	95,7 aA
BRS Graúna	96,0 aA	82,3 bA
BRS Gaivota	90,7 bA	91,0 aA
BRS Gralha-Azul	85,0 bA	90,7 aA
TBIO Sinuelo	86,0 bB	102 aA
TBIO Mestre	88,7 bA	102 aA
TBIO Sossego	71,7 bA	68,7 bA
TBIO Sintonia	105 aA	99,0 aA
TBIO Toruk	98,3 aA	80,0 bB
Quartzo	94,7 aA	87,3 aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha (individualmente para cada local), não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$) ou pelo teste t ($P \geq 0,05$), respectivamente.

A relação tenacidade/extensibilidade (P/L) foi influenciada somente pelo genótipo nos três ambientes (Tabela 3). A BRS Gralha-Azul apresentou os maiores valores de P/L nos três locais, sendo a melhor cultivar em Londrina-irrigado. Além da BRS Gralha-Azul, a TBIO Sossego em Ponta Grossa e Londrina-sequeiro, e a BRS Sanhaço em Ponta Grossa, também tiveram elevado P/L.

Valores de P/L entre 0,50 e 1,20 são característicos de farinhas balanceadas, utilizadas na fabricação de pães. Por outro lado, a farinha tenaz apresenta elevados valores de P/L (acima de 1,21) e é mais utilizada para produção de massas alimentícias secas (MÓDENES; SILVA; TRIGUEROS, 2009). Todas as cultivares avaliadas em Londrina-sequeiro apresentaram valores de P/L entre 0,50 e 1,20. Nos outros ambientes, a maioria dos genótipos também produziu farinhas balanceadas, com exceção da BRS Sanhaço, TBIO Sossego e BRS Gralha-Azul, que produziram a farinha tenaz. A TBIO Toruk também obteve elevado valor de P/L em Ponta Grossa.

De forma geral, a tenacidade, a extensibilidade e a relação P/L variaram, principalmente, em função do genótipo e do local de cultivo, pois há

expressivas diferenças no desempenho das cultivares quando produzidas em diferentes condições ambientais (YAN; HOLLAND, 2010), o que está relacionado à distinta capacidade de adaptação destes materiais genéticos às diferentes condições edafoclimáticas (GUARIENTI et al., 2005). Módenes; Silva; Trigueros (2009), avaliando as propriedades reológicas de variedades de trigo, verificaram que tanto a tenacidade quanto a extensibilidade variaram em função do genótipo utilizado, corroborando os resultados obtidos. Além disso, o ambiente e o genótipo também influenciam diretamente a disponibilidade e a absorção do N (SANGOI et al., 2007), o qual influencia a tenacidade e a extensibilidade.

O glúten úmido foi alterado pela interação entre genótipo e doses de N em Ponta Grossa (Tabela 5). Foi observada diferença entre as doses de N somente para a cultivar TBIO Sinuelo, o que pode estar relacionado à elevada eficiência de utilização de N deste genótipo, que obteve melhor desempenho com a menor dose utilizada. Para as outras cultivares, não foi observada diferença significativa entre as doses estudadas. Na menor dose de N (40 kg ha^{-1}), as cultivares TBIO Sinuelo, TBIO Mestre, BRS Sanhaço, BRS Graúna e BRS Gaivota foram superiores às outras. Por outro lado, na maior dose de N (120 kg ha^{-1}), as cultivares TBIO Mestre, BRS Sanhaço, BRS Graúna e TBIO Sintonia se destacaram das demais (Tabela 6).

Tabela 5. Resumo da análise de variância e médias do glúten úmido, força de glúten e índice de elasticidade de dez genótipos de trigo cultivados em três ambientes agrícolas (Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado), com duas doses de nitrogênio (N).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio								
		Glúten úmido			Força de glúten			Índice de elasticidade		
		Ponta Grossa	Londrina-Sequeiro	Londrina-Irrigado	Ponta Grossa	Londrina-Sequeiro	Londrina-Irrigado	Ponta Grossa	Londrina-Sequeiro	Londrina-Irrigado
Bloco	2	0,37	1,63	5,68	1759	825	1044	21,3	21,7	28,2
Genótipo (G)	9	41,2***	67,6***	32,4***	23160***	3456 ^{ns}	8575***	63,1***	27,4 ^{ns}	50,1***
Doses de N (N)	1	39,7*	6,41*	54,2***	7216 ^{ns}	13,1 ^{ns}	960 ^{ns}	51,8*	0,82 ^{ns}	1,73 ^{ns}
G x N	9	15,6*	2,10 ^{ns}	2,25 ^{ns}	2231 ^{ns}	1250 ^{ns}	819 ^{ns}	26,1**	7,78 ^{ns}	6,84 ^{ns}
Resíduo	38	5,68	1,54	1,76	2459	1834	1050	8,34	15,0	9,11
CV (%)		9,90	4,12	4,65	23,5	20,2	15,3	4,73	6,64	5,32
Fator	Tratamento	Glúten úmido (%)			Força de glúten (10 ⁻⁴ J)			Índice de elasticidade (%)		
		Ponta Grossa	Londrina-Sequeiro	Londrina-Irrigado	Ponta Grossa	Londrina-Sequeiro	Londrina-Irrigado	Ponta Grossa	Londrina-Sequeiro	Londrina-Irrigado
Genótipo (G)	BRS Sanhaço	25,2	32,6 b	28,7 c	223 a	223	233 b	57,2	57,0	55,5 b
	BRS Graúna	29,1	32,1 b	30,1 b	233 a	189	200 c	57,4	55,1	58,2 b
	BRS Gaivota	24,9	36,6 a	32,3 a	217 a	222	223 b	63,2	60,1	56,6 b
	BRS Gralha-Azul	22,9	29,3 c	28,5 c	270 a	262	288 a	60,1	58,1	57,2 b
	TBIO Sinuelo	23,5	25,5 d	26,3 d	121 b	180	173 c	60,1	57,7	57,1 b
	TBIO Mestre	26,9	31,6 b	31,7 a	293 a	234	250 b	65,1	58,9	57,4 b
	TBIO Sossego	21,3	26,6 d	27,6 c	230 a	196	203 c	62,5	55,9	52,2 c
	TBIO Sintonia	24,3	28,7 c	26,5 d	259 a	202	201 c	66,7	59,4	62,2 a
	TBIO Toruk	21,3	30,7 b	28,1 c	115 b	212	175 c	57,9	62,4	58,2 b
	Quartzo	21,1	27,0 d	25,2 d	149 b	201	170 c	60,7	59,5	52,4 c
Doses de N (N)	40	24,9	29,7 b	27,5 b	222	212	208	60,2	58,5	56,5
	120	23,2	30,4 a	29,4 a	200	212	216	62,0	58,3	56,9

GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. ns, *, ** e *** = não significativo, significativo a $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ e $P \leq 0,001$, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesmas letras na coluna, para os fatores genótipo ou doses de N, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$) ou pelo teste F ($P \geq 0,05$, de acordo com a análise de variância), respectivamente.

Tabela 6. Desdobramento do glúten úmido de dez genótipos de trigo cultivados em Ponta Grossa com duas doses de nitrogênio (N).

Genótipos	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)	
	Glúten úmido (%)	
	Ponta Grossa	
	40	120
BRS Sanhaço	25,16 aA	25,21 aA
BRS Graúna	30,16 aA	28,09 aA
BRS Gaivota	26,40 aA	23,43 bA
BRS Gralha-Azul	23,26 bA	22,44 bA
TBIO Sinuelo	28,61 aA	18,43 bB
TBIO Mestre	27,36 aA	26,54 aA
TBIO Sossego	20,84 bA	21,72 bA
TBIO Sintonia	24,12 bA	24,50 aA
TBIO Toruk	21,14 bA	21,43 bA
Quartzo	21,64 bA	20,64 bA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha (individualmente para cada local), não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$) ou pelo teste t ($P \geq 0,05$), respectivamente.

O glúten úmido foi influenciado por genótipo e doses de N em Londrina em condições de sequeiro e irrigado (Tabela 5). A BRS Gaivota apresentou o maior valor para esta característica nesses dois ambientes. Em Londrina-irrigado, a TBIO Mestre também apresentou elevado glúten úmido. Por outro lado, a TBIO Sinuelo e a Quartzo nos dois ambientes de Londrina, a TBIO Sossego em Londrina-sequeiro, e a TBIO Sintonia em Londrina-irrigado, exibiram os menores valores de glúten úmido. Quanto à adubação nitrogenada, a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N aumentou o glúten úmido nos dois ambientes de Londrina.

De acordo com Stefen et al. (2015), o aumento do N disponível aumenta a concentração de proteínas nos grãos e, como o glúten é formado pelas proteínas gliadinas e gluteninas, seu conteúdo também é incrementado. Ressalta-se que o efeito da aplicação de N variou entre os ambientes, sendo mais expressivo em Londrina, que apresenta condições mais favoráveis à mineralização de N em função de seus fatores ambientais, como clima, características químicas, físicas e microbiológicas do solo (MENDONÇA; LOURES, 1996).

A variação do glúten úmido entre os genótipos indica que esta característica é definida geneticamente, embora seja influenciada pelo ambiente de cultivo e pelo manejo aplicado. As diferentes respostas obtidas em Ponta Grossa para a adubação nitrogenada evidenciam que as cultivares apresentam diferenças quanto

à capacidade de absorção, assimilação e utilização do N, o que influencia a qualidade dos grãos produzidos (SANGOI et al., 2007).

A força de glúten foi influenciada somente pelo genótipo em Ponta Grossa e Londrina-irrigado (Tabela 5). Em Ponta Grossa, a maioria das cultivares apresentou elevada força de glúten, com exceção de TBIO Sinuelo, Quartzo e TBIO Toruk. Por outro lado, em Londrina-irrigado a BRS Gralha-Azul foi superior às demais. As variações observadas entre os genótipos para força de glúten indicam que ela depende da cultivar, o que também foi constatado por Penckowski; Zagonel; Fernandes (2010).

Os valores de força de glúten dos genótipos variaram de 115 a 293×10^{-4} J e, apesar de estarem todos dentro da faixa de classes de trigo, que varia de 100 (trigo básico) a 300 (trigo melhorador) (BRASIL, 2010), os resultados observados estão abaixo dos valores relatados para essas cultivares, o que pode estar relacionado aos menores valores de glúten úmido constatados em Ponta Grossa, e às condições edafoclimáticas, que favoreceram o acamamento das plantas, como foi observado em Londrina.

Quanto à adubação nitrogenada, verificou-se que, embora a aplicação de N tenha proporcionado incremento no teor de proteína total do grão e no glúten úmido, as doses de N não influenciaram a força de glúten das cultivares estudadas, nos três ambientes. Isto pode estar relacionado a qualidade do glúten, influenciado pela proporção das proteínas gluteninas e gliadinas, ou seja, apesar da aplicação de nitrogênio influenciar a quantidade destas proteínas formadoras do glúten, a aplicação de N não influenciou a qualidade das mesmas, que é definida, dentre outros fatores, pela proporção entre elas e, por isso, não alterou a força de glúten.

Schmidt et al. (2009) trabalhando com adubação nitrogenada em genótipos de trigo brasileiros, constataram que a aplicação de N, apesar de incrementar o teor de proteínas dos grãos, não influenciou significativamente a força de glúten, corroborando os resultados obtidos no presente trabalho. Por outro lado, Pinnow et al. (2013), verificaram que a adubação nitrogenada, além de favorecer o percentual de glúten úmido em grãos de trigo, também proporcionou um incremento na força de glúten, o que pode estar relacionado a um aumento na qualidade das proteínas.

O índice de elasticidade foi alterado pela interação entre genótipos e doses de N em Ponta Grossa (Tabela 5). O aumento da dose de N aumentou este

índice na farinha das cultivares BRS Sanhaço, BRS Graúna e TBIO Toruk. Dentro da dose de 40 kg ha⁻¹ de N, as cultivares TBIO Mestre, TBIO Sossego, BRS Gaivota e TBIO Sintonia tiveram maior índice de estabilidade (Tabela 7). No entanto, quando foi aplicada a dose 120 kg ha⁻¹ de N, não houve diferença entre os genótipos.

Tabela 7. Desdobramento do índice de elasticidade de dez genótipos de trigo cultivados em Ponta Grossa com duas doses de nitrogênio (N).

Genótipos	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)	
	Índice de elasticidade (%)	
	Ponta Grossa	
	40	120
BRS Sanhaço	54,00 cB	60,43 aA
BRS Graúna	53,33 cB	61,43 aA
BRS Gaivota	63,43 aA	63,00 aA
BRS Gralha-Azul	59,83 bA	60,37 aA
TBIO Sinuelo	60,72 bA	59,57 aA
TBIO Mestre	66,50 aA	63,77 aA
TBIO Sossego	64,27 aA	60,77 aA
TBIO Sintonia	66,40 aA	66,93 aA
TBIO Toruk	54,53 cB	61,36 aA
Quartzo	58,67 cA	62,63 aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha (individualmente para cada local), não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$) ou pelo teste t ($P \geq 0,05$), respectivamente.

Em Londrina-irrigado, o índice de elasticidade foi influenciado pelo genótipo, com maior valor para TBIO Sintonia e menor para Quartzo e TBIO Sossego (Tabela 5).

O índice de elasticidade está relacionado à qualidade de panificação da farinha, ou seja, quanto mais próximo de 100% maior é sua resistência elástica, sendo que valores superiores a 50% são ideais para panificação industrial (KITISSOU, 1995). Todas as cultivares apresentaram índice de elasticidade acima de 50% e, portanto, todas são indicadas para panificação, confirmando a classificação dos respectivos obtentores genéticos, que as classificaram como “trigo pão” ou “trigo pão/melhorador” (BASSOI; FOLONI, 2015a; BASSOI; FOLONI, 2015b; BASSOI; FOLONI, 2016; BASSOI; FOLONI; SILVA, 2017; EMBRAPA, 2017).

Houve correlações entre as variáveis de qualidade tecnológica de grãos e de farinha de trigo (Tabela 8). No entanto, embora significativas, a maioria das correlações são consideradas fracas, isto é, com coeficiente de correlação menor do

que 0,50. Isto está relacionado ao elevado número de pares de registro do conjunto de dados, que contribui para tornar a correlação significativa, mas com baixo coeficiente de correlação (COHEN, 1988). Correlações positivas e com elevados coeficientes foram observadas entre a tenacidade e o número de quedas (0,50), a tenacidade e a força de glúten (0,68), relação P/L e a tenacidade (0,80) e a proteína total do grão e o glúten úmido (0,73).

Tabela 8. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre variáveis ⁽¹⁾ de qualidade tecnológica de grãos e de farinha de dez genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Ponta Grossa, Londrina-sequeiro e Londrina-irrigado) com duas doses de nitrogênio (N).

Variável	PH	MMG	EXT	NQ	PTG	P	L	P/L	GU	W
MMG	-0,04 ^{ns}									
EXT	0,07 ^{ns}	-0,28 ^{***}								
NG	0,12 ^{ns}	0,21 ^{**}	-0,44 ^{***}							
PTG	-0,02 ^{ns}	-0,15 [*]	0,06 ^{ns}	-0,32 ^{***}						
P	0,09 ^{ns}	0,13 [*]	-0,52 ^{***}	0,50 ^{***}	0,01 ^{ns}					
L	0,28 ^{***}	-0,21 ^{**}	0,18 ^{**}	-0,24 ^{***}	0,27 ^{***}	-0,36 ^{***}				
P/L	-0,16 [*]	0,21 ^{**}	-0,39 ^{***}	0,41 ^{***}	-0,17 ^{**}	0,80 ^{***}	-0,78 ^{***}			
GU	0,25 ^{***}	-0,35 ^{***}	0,11 ^{ns}	-0,24 ^{***}	0,73 ^{***}	0,06 ^{ns}	0,45 ^{***}	-0,26 ^{***}		
W	0,25 ^{***}	0,05 ^{ns}	-0,41 ^{***}	0,34 ^{***}	0,21 ^{**}	0,68 ^{***}	0,34 ^{***}	0,18 ^{**}	0,31 ^{***}	
IE	-0,04 ^{ns}	0,29 ^{***}	-0,12 [*]	0,09 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,20 ^{**}	-0,12 ^{ns}	-0,13 [*]	0,34 ^{***}

⁽¹⁾ Peso hectolítrico (PH), peso de mil grãos (MMG), extração experimental de farinha (EXT), número de quedas (NQ), proteína total do grão (PTG), tenacidade (P), extensibilidade (L), relação tenacidade/extensibilidade (P/L), glúten úmido (GU), força de glúten (W) e índice de elasticidade (IE). ^{ns}, ^{*}, ^{**} e ^{***}: não significativo, significativo a P ≤ 0,05, P ≤ 0,01 e P ≤ 0,001 pelo teste t, respectivamente (n = 180 pares de registros para cada correlação).

Segundo Cazetta et al. (2008), a elevada relação P/L pode ser explicada pelo maior teor de gluteninas, que são proteínas com alta elasticidade e baixa extensibilidade e, por outro lado, o menor valor de P/L é resultado do elevado teor de gliadinas que são responsáveis pela reduzida elasticidade do glúten. Sendo assim, pode-se dizer que as gluteninas são responsáveis pela tenacidade e, as gliadinas pela extensibilidade, o que elucida a correlação entre P/L e tenacidade.

Estes argumentos também explicam as correlações entre tenacidade e NQ, pois quanto maior a tenacidade, maior a quantidade de gluteninas, o que indica que há baixa atividade enzimática da α -amilase, que é responsável pela degradação dessas proteínas e, por isso, maior o NQ. Além disso, a tenacidade é considerada como uma característica que indica estabilidade e resistência ao trabalho de deformação (GUTKOSKI et al., 2011), justificando a correlação entre esta variável e a força de glúten, que também corresponde a resistência da massa à deformação (SCHEUER et al., 2011).

A correlação entre proteína total do grão e glúten úmido era esperada, pois o glúten é formado pelas proteínas gliadinas e gluteninas. Stefen et al. (2015) também obtiveram elevada correlação (0,95) entre o teor total de proteína e o glúten úmido. Eles também verificaram que houve alta correlação (0,81) entre o conteúdo de proteínas e a força de glúten, cuja correlação foi de baixa magnitude (0,21) no presente estudo. Isto pode estar associado mais com a qualidade do que com a quantidade destas proteínas que formam o glúten, ou seja, apesar de o incremento do teor de proteína total do grão resultar no aumento da concentração de gliadinas e gluteninas, a qualidade, que inclui a proporção destas proteínas, limitou o aumento linear da força de glúten.

Também foram verificadas correlações negativas e com altos coeficientes entre as variáveis tenacidade e extração experimental de farinha (-0,52), e relação P/L e extensibilidade (-0,78) (Tabela 6), sendo que esta última já era esperada, pois a primeira característica é definida em função da segunda. Stefen et al. (2015) também observaram correlação negativa e com elevado coeficiente (-0,94) entre P/L e extensibilidade.

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que as características relacionadas à qualidade tecnológica do trigo variam principalmente em função do genótipo e do ambiente. Isto pode ser atribuído à diferença na constituição genética e na capacidade de adaptação destes materiais aos locais de cultivo, que influenciam diretamente a qualidade dos grãos produzidos (GUARIENTI et al., 2005). Quanto à adubação nitrogenada, o aumento da dose de N incrementou o teor total de proteína e o glúten úmido. Isto evidencia a importância deste nutriente para a qualidade de farinha (NEUMANN et al., 2009). Sendo assim, apesar de não alterar a classificação comercial das cultivares avaliadas, a adubação nitrogenada mostrou-se essencial para garantir o bom desenvolvimento das plantas e a qualidade dos grãos produzidos.

4.6 CONCLUSÕES

A resposta da qualidade de farinha de trigo às doses de N depende do genótipo e do ambiente para as características de tenacidade, extração experimental de farinha, glúten úmido e índice de elasticidade.

A aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N proporciona maior proteína total no grão em todos os ambientes, maior teor de glúten úmido em Londrina (sequeiro e irrigado), mas não influencia a força de glúten e a classificação das cultivares estudadas.

Cultivares com elevada tenacidade tendem a apresentar também maior número de queda, força de glúten e relação P/L e menor extensibilidade e rendimento para extração experimental de farinha.

Cultivares com maior proteína total no grão apresentam maior porcentagem de glúten úmido.

4.7 REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC) INTERNATIONAL. **Approved Methods of analysis**, 11th ed. St. Paul, 2011.

ALTENBACH, S.B.; TANAKA, C.K.; HURKMAN, W.J.; WHITEHAND, L.C.; VENSEL, W.H.; DUPONT, F.M. Differential effects of a post-anthesis fertilizer regimen on the wheat flour proteome determined by quantitative 2-DE. **Proteome Science**, v. 9, n. 46, p. 1-13, 2011.

BARBOTTIN, A.; LECOMTE, C.; BOUCHARD, C.; JEUFFROY, M.H. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: genotypic and environmental effects. **Crop Science**, v. 45, n. 3, p. 1141-1150, 2005.

BARRON, C.; SURGET, A.; ROUAU, X. Relative amounts of tissues in mature wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and their carbohydrate and phenolic acid composition. **Journal Cereal Science**, v. 45, p. 88–96, 2007.

BASSOI, M.C.; FOLONI, J.S.S. Adubação nitrogenada no trigo visando a qualidade industrial. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 6., 2012, Londrina. **Anais...** Londrina, PR: IAPAR, 2012. 5 p.

BASSOI, M.C.; FOLONI, J.S.S. **Cultivar de trigo BRS Gaivota: características e desempenho agrônômico**. Londrina, PR: Embrapa, 2015a. 6 p. (Comunicado Técnico, 81).

BASSOI, M.C.; FOLONI, J.S.S. **Cultivar de trigo BRS Galha-Azul**: características e desempenho agrônomico. Londrina, PR: Embrapa, 2015b. 6 p. (Comunicado Técnico, 82).

BASSOI, M.C.; FOLONI, J.S.S. **Cultivar de trigo BRS Graúna**: características e desempenho agrônomico. Londrina, PR: Embrapa, 2016. 7 p. (Comunicado Técnico, 89).

BASSOI, M.C.; FOLONI, J.S.S.; SILVA, S.R. **Cultivar de trigo BRS Sanhaço**: características e desempenho agrônomico. Londrina, PR: Embrapa, 2017. 12 p. (Comunicado Técnico, 93).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. Regulamento técnico do trigo. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 29, p. 2, 1 dez. 2010. Seção 1.

CAMPOGARA, A.S.; OLIVEIRA, G.A.; GEORGIN, J.; ROSA, A.L.D. Avaliação dos componentes de rendimento do trigo quando submetido a diferentes fontes de nitrogênio. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 524-532, 2016.

CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D.; ARF, O.; GERMANI, R. Qualidade industrial de cultivares de trigo e triticale submetidos à adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 741-750, 2008.

CBPTT – Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. **Informações técnicas para trigo e triticale**: safra 2016. Passo Fundo, RS: Biotrigo Genética/CBPTT, 2016. 228 p.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. 2nd. ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1988. 567 p.

COSTA, M.G.; SOUZA, E.L.; STAMFORD, T.L.M.; ANDRADE, S.A.C. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 220-225, 2008.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Informações técnicas para trigo e triticale – safra 2017**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2017. 240 p.

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

FOLONI, J.S.S.; BASSOI, M.C.; SILVA, S.R. **Indicações fitotécnicas para cultivares de trigo da Embrapa no Paraná**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2016. (Circular Técnica; 117).

FRANCESCHI, L.; BENIN, G.; GUARIENTI, E.; MARCHIORO, 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.

GAJU, O.; REYNOLDS, M.P.; SPARKES, D.L.; FOULKES, M.J. Relationships between large-spike phenotype, grain number, and yield potential in spring wheat. **Crop Science**, v. 49, n. 3, p. 961-973, 2009.

GUARIENTI, E.M.; CIACCO, C.F.; CUNHA, G.R.; DUCCA, L.J.A.; CAMARGO, C.M.O. Efeitos da precipitação pluvial, da umidade relativa do ar e de excesso de déficit hídrico do solo no peso 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.

GUTKOSKI, L.C.; KLEIN, B.; PAGNUSSATT, F.A.; PEDÓ, I. Características tecnológicas de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivados no cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 786-792, 2007.

GUTKOSKI, L.C.; KLEIN, B.; COLUSSI, R.; SANTETI, T.A.S. Efeito da adubação nitrogenada nas características tecnológicas de trigo. **Revista Brasileira de Agrocência**, v. 17, n. 1-4, p. 116-122, 2011.

KARAOĞLU, M. M.; AYDENIZ, M.; KOTANCILAR, H. G.; GERÇELASLAN, K. E. A comparison of the functional characteristics of wheat stored as grain with wheat stored in spike form. **Journal Food Science and Technology**, v. 45, p. 38-47, 2010.

KITISSOU, P. Un nouveau paramètre alvéographique: L'indice d'élasticité (le). **Industries des Céréales**, v. 92, p. 9-14, 1995.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH L. O.B. Relações entre a adubação nitrogenada e a qualidade de grãos e de sementes em aveia branca. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 979-383, 2004.

MATTUELLA, D.; SIMIONI, S.P.; SEGATTO, C.; CIGEL, C.; ADAMS, C.R.; KLEIN, C.; LAJÚS, C.R.; SORDI, A. Eficiência agrônômica da cultura do trigo submetida a doses de nitrogênio em diferentes estádios ontogênicos. **Ciência Agrícola**, v. 16, n. 3, p. 1-9, 2018.

MENDONÇA, E.S.; LOURES, E.G. **Matéria orgânica do solo**. Brasília, DF: ABEAS, 1996. 45 p. (Módulo 5).

MÓDENES, A.N.; SILVA, A.M.; TRIGUEROS, D.E.G. Avaliação das propriedades reológicas do trigo armazenado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 3, p. 508-512, 2009.

NEUMANN, M.; OLIVEIRA, M.R.; SPADA, C.A.; FIGUEIRA, D.N.; POCZYNEK, M. Componentes de rendimento e produção da planta de cevada em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 2, n. 3, p.61-68, 2009.

NUNES, A. S.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; MOTA, L. H. S. Adubos verdes e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo sob plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1375-1384, 2011.

PENCKOWSKI, L.H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Qualidade industrial do trigo em função do trinexapac-ethyl e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 6, p.1492-1499, 2010.

PINNOW, C.; BENIN, G.; VIOLA, R.; SILVA, C.L.S.; 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.

PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; BASSOI, M. C.; OLIVEIRA, F. A. Formas de ureia e doses de nitrogênio em cobertura no desempenho agrônômico de genótipos de trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 621-632, abr. 2012.

R CORE TEAM (2020). **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Available online at <https://www.R-project.org/>

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

SCHEUER, P.M.; FRANCISCO, A.; MIRANDA, M.Z.; LIMBERGER, V.M. Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 2, p. 211-222, 2011.

SCHMIDT, D.A.M.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; SILVA, J.A.G.; BERTAN, I.; VALÉRIO, I.P.; HARTWIG, I.; SILVEIRA, G.; GUTKOSKI, L.C. Variabilidade genética em trigos brasileiros a partir de caracteres componentes da qualidade industrial e produção de grãos. **Bragantia**, v. 68, n. 1, p. 43-52, 2009.

SILVA, J.A.G.; ARENHARDT, E.G.; KRÜGER, C.A.M.B.; LUCHESE, O.A.; METZ, M.; MAROLLI, A. A expressão dos componentes de produtividade do trigo pela classe tecnológica e aproveitamento do nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 27-33, 2015.

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

STEFEN, D.L.V.; SOUZA, C.A.; COELHO, C.M.M.; GUTKOSKI, L.C.; SANGOI, L. A adubação nitrogenada durante o espigamento melhora a qualidade industrial do trigo (*Triticum aestivum* cv. Mirante) cultivado com regulador de crescimento etil-trinexapac. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 114, n. 2, p. 161-169, 2015.

YAN, W.; HOLLAND, J.B. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. **Euphytica**, v. 171, n. 3, p. 355-369, 2010.

ZADOKS, J.C.; CHANG, T.T.; KONZAK, C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v. 14, n. 6, p. 415-421,1974.

5 ARTIGO C

ADUBAÇÃO NITROGENADA E DENSIDADE DE SEMEADURA NO DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE GENÓTIPOS DE TRIGO

5.1 RESUMO

O ajuste da densidade de semeadura do trigo de acordo com o genótipo, ambiente e adubação nitrogenada pode melhorar o rendimento e a qualidade fisiológica das sementes produzidas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho produtivo e a qualidade fisiológica de sementes de trigo em resposta à densidade de semeadura e doses de nitrogênio (N) aplicadas em cobertura. O experimento foi conduzido em três ambientes: Londrina, Cascavel e Ponta Grossa, em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, com arranjo fatorial $2 \times 3 \times 4$, contemplando dois genótipos de trigo (cultivar BRS Anambé [WT 15-008] e WT 15-025), três densidades de semeadura (250, 350 e 450 sementes m^{-2}) e quatro doses de N (0, 40, 80 e 120 kg N ha^{-1}), aplicadas em cobertura. Foram realizadas as seguintes avaliações agrônômicas: altura e acamamento de plantas, densidade de espigas e rendimento de sementes. A qualidade fisiológica das sementes produzidas foi avaliada por meio do peso hectolítrico, massa de mil sementes, primeira contagem da germinação, germinação, emergência de plântulas, índice de velocidade de emergência, comprimento e massa seca de plântulas. Os dados foram submetidos à análise de variância, separadamente para cada ambiente, sendo os genótipos comparados pelo teste F, as densidades de semeadura comparadas pelo teste de Tukey e as doses de N submetidas à análise de regressão. O desempenho produtivo dos genótipos variou em função do ambiente. A cultivar BRS Anambé [WT 15-008] produziu sementes de maior qualidade fisiológica nos três ambientes de cultivo. Maiores densidades de semeadura favoreceram o a produtividade, a velocidade e a germinação das sementes. A aplicação de 40 kg ha^{-1} de N favoreceu o desempenho produtivo e a qualidade fisiológica das sementes em todos os ambientes. A utilização de doses elevadas de N aumenta o acamamento de plantas e reduz o vigor das sementes produzidas.

Palavras-chave: Doses de Nitrogênio. Germinação. População de plantas. *Triticum aestivum*. Vigor.

NITROGEN FERTILIZATION AND SOWING DENSITY ON PRODUCTIVE PERFORMANCE AND PHYSIOLOGICAL QUALITY OF WHEAT GENOTYPES SEEDS

5.2 ABSTRACT

The adjustment of wheat sowing density according to the genotype, environment and nitrogen (N) fertilization can improve the yield and physiological quality of the produced seeds. The objective of this work was to evaluate the productive performance and the seed physiological quality as affected by sowing density and N doses. The experiments was carried out in three environments: Londrina, Cascavel and Ponta Grossa, in a randomized block design with four replications, in a $2 \times 3 \times 4$ factorial arrangement, being two wheat genotypes (cultivar BRS Anambé [WT 15-008] and WT 15-025), three sowing densities (250, 350 and 450 seeds m^{-2}) and four N doses (0, 40, 80 and 120 $kg\ ha^{-1}$), applied in top dressing. The following agronomic evaluations were performed: plant height, plant lodging, ear density and seed yield. The physiological quality of the seeds produced was evaluated by mean of hectoliter weight, thousand seeds mass, first count, germination, seedling emergence, speed index of emergence, length and dry mass of seedlings. The data were submitted to analysis of variance, separately for each environment, being the genotypes compared by the F test, the densities compared by the Tukey test and the N doses submitted to the regression analysis. The productive performance of the genotypes varied according to the environment. The cultivar BRS Anambé [WT 15-008] produced seeds of higher physiological quality in the three growing environments. Higher sowing densities favored the productivity, the speed and rate of germination of the seeds. The application of 40 $kg\ ha^{-1}$ de N favored the yield performance and the physiological quality of the seeds in all environments. The use of high doses of N increases the plant lodging and reduces the vigor of the produced seeds.

Key words: Nitrogen doses. Germination. Plant population. *Triticum aestivum*. Vigor.

5.3 INTRODUÇÃO

O trigo é o segundo cereal mais produzido e consumido no mundo e, no Brasil ele representa a principal cultura de inverno, sendo constatado um incremento significativo da produção nacional de, aproximadamente, 32% na safra de 2020 (CONAB, 2021). Para atender a expansão da área cultivada e explorar o potencial produtivo da cultura, se faz necessário a produção de maior quantidade de sementes de elevado padrão de qualidade, visando favorecer o estabelecimento e desenvolvimento das lavouras em diversas condições ambientais.

A adubação nitrogenada se destaca dentre as técnicas de manejo, pois o nitrogênio (N) é o nutriente de maior importância para a formação das sementes, sendo constituinte essencial de biomoléculas que participam de reações metabólicas fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (OHYAMA, 2010). Além disso, o conteúdo de N absorvido pelo trigo durante seu ciclo tem correlação positiva com o teor de proteína das sementes produzidas, o que é essencial para o estabelecimento inicial da plântula (BRZEZINSKI et al., 2014; LOLLATO; JAENISCH; SILVA, 2021). As proteínas constituintes das sementes são hidrolisadas durante a germinação para suprir a demanda nutricional do embrião e, posteriormente, da plântula durante as fases iniciais de desenvolvimento (CALISKAN; MAKINECI, 2015).

A influência da adubação nitrogenada na qualidade fisiológica da semente varia com o genótipo, o ambiente e a dose de N (MARCOS FILHO, 2015). Zucareli et al. (2012) constataram que o potencial fisiológico de sementes de milho doce apresentou respostas distintas às doses de N em função dos genótipos utilizados. Assim, a definição da dose de N adequada ao genótipo e ao ambiente de cultivo é fundamental para aumentar sua eficiência de uso pelas plantas, garantindo maior rendimento e qualidade de sementes, reduzindo assim, possíveis perdas de N por lixiviação, volatilização e desnitrificação (COSTA; ZUCARELI; RIEDE, 2013).

O manejo da densidade de semeadura é outra relevante técnica que influencia o rendimento e a qualidade das sementes de trigo. Neste contexto, a densidade de plantas estabelecidas influencia a taxa de perfilhamento, e o grau de competição intraespecífica e interespecífica (ABATI et al., 2018), o que pode afetar outros manejos adotados, como a definição da adubação nitrogenada. Gross et al. (2012) observaram na cultura do trigo que maiores populações de plantas resultam

na produção de sementes de menor massa. Em contrapartida, Barbieri et al. (2013) verificaram que reduções controladas de 20, 40 e 60% da população original (350 plantas m^{-2}) de trigo, afetaram negativamente o potencial fisiológico das sementes produzidas, devido à maior emissão de perfilhos que resultou em maior competitividade.

A recomendação de uma combinação ótima entre densidade de semeadura e dose de N, individualmente para cada genótipo, é um desafio para a produção de sementes de elevada qualidade fisiológica, considerando a diversidade de ambientes de cultivo. Por exemplo, o aumento da densidade de semeadura proporciona maior número de espigas por área, decorrente da maior quantidade de plantas por área, o que pode favorecer a competição intraespecífica e afetar negativamente a formação das sementes e, por isso, maiores doses de fertilizantes podem ser necessárias para compensar esse efeito (TAVARES et al., 2014). Grimes et al. (2019), trabalhando com a cultura da chia, observaram que a aplicação de 20 a 40 $kg\ ha^{-1}$ de N melhorou o rendimento e a qualidade das sementes produzidas quando associada a uma densidade de semeadura de 1,5 kg de sementes ha^{-1} (o que equivale a cerca de 125 sementes por m^2).

O trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho produtivo e a qualidade fisiológica de sementes de cultivares de trigo em função da densidade de semeadura e doses de N aplicadas em cobertura, em diferentes ambientes de cultivo.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

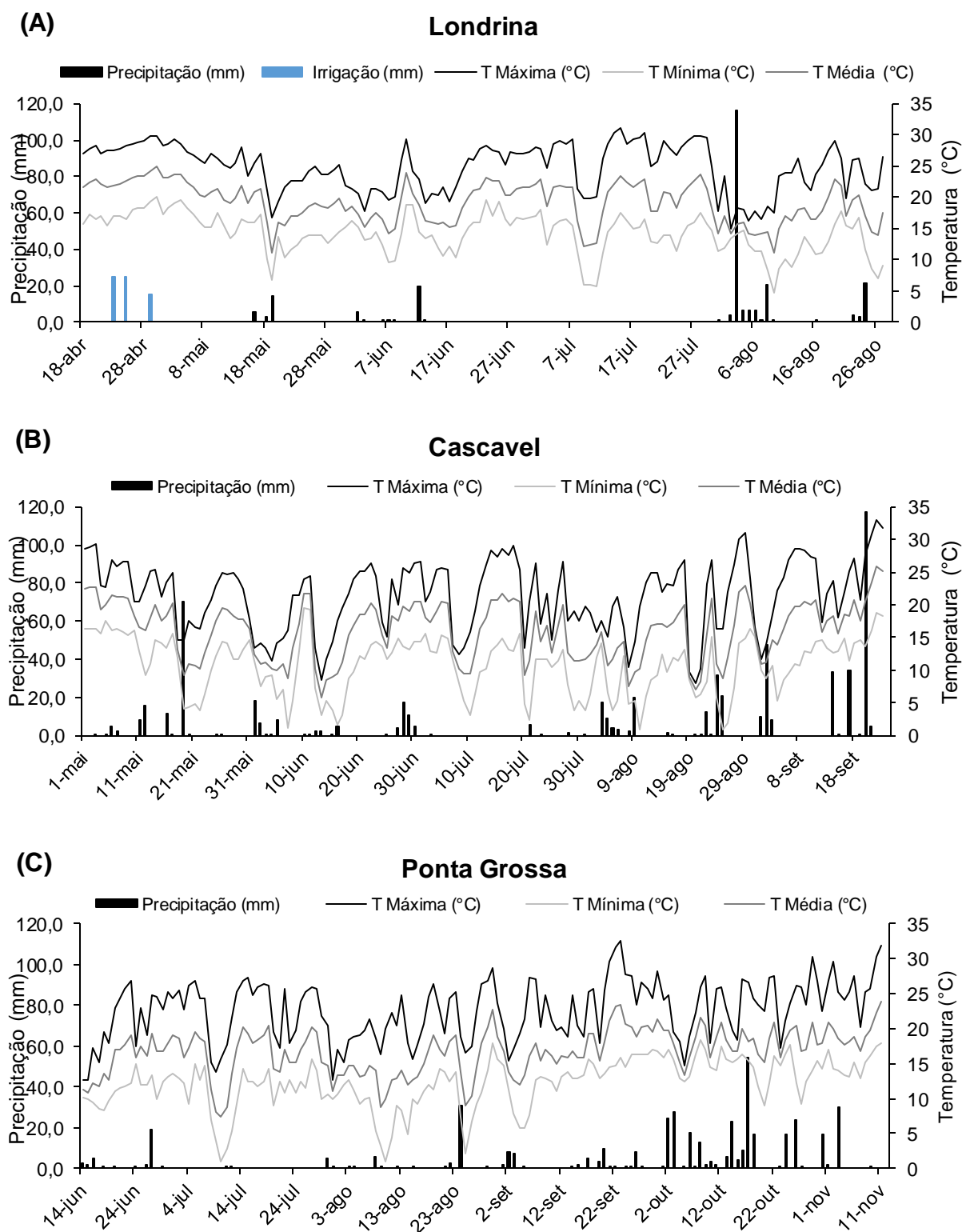
O experimento foi desenvolvido em três ambientes edafoclimáticos de cultivo de trigo no estado do Paraná: Londrina, Ponta Grossa e Cascavel, situados nas macrorregiões III, I e II, respectivamente, de adaptação da cultura do trigo (FOLONI; BASSO; SILVA, 2016). Em Londrina, o experimento foi conduzido na fazenda experimental da Embrapa Soja (23°11'37" S, 51°11'03" W; altitude de 628 m). O relevo é suavemente ondulado e o solo da área experimental é um Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa; o clima regional, de acordo com a classificação de Köppen, é subtropical úmido (Cfa), com verão quente e chuvoso, com temperatura e precipitação médias anuais de 21,2 °C e 1.392 mm, respectivamente, geadas pouco frequentes e sem estação seca definida.

Em Ponta Grossa, o experimento foi desenvolvido em outra fazenda experimental da Embrapa (25°09'31" S, 50°04'22" W; altitude de 886 m). O relevo é suavemente ondulado e o solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distroférico de textura média. O clima regional, segundo a classificação de Köppen, é subtropical úmido (Cfb) mesotérmico, com verão ameno, chuvas uniformemente distribuídas, sem estação seca definida, precipitação média anual de 1.100 a 2.000 mm, com geadas severas e frequentes.

Por sua vez, no município de Cascavel o experimento foi conduzido na área experimental do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz (24°56'25" S, 53°30'46" W; altitude de 780 m). O relevo é suavemente ondulado e o solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa; o clima regional é subtropical úmido (Cfa), com temperatura média anual de 18,2 °C e precipitação média anual de 1.822 mm.

Os dados meteorológicos durante o período de cultivo são apresentados na Figura 1.

Figura 1. Médias diárias de temperaturas (média, máxima e mínima) e precipitação pluvial durante o período de condução dos experimentos em Londrina (A), Cascavel (B) e Ponta Grossa (C).



Previamente à instalação dos experimentos, foram coletadas amostras de solo nas áreas experimentais nas camadas de 0–10 e 10–20 cm para análises químicas e físicas, sendo os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e física dos solos (camadas de 0–10 e 10–20 cm) das áreas experimentais de Londrina, Cascavel e Ponta Grossa.

Camada cm	pH ⁽¹⁾	CO ⁽²⁾ g dm ⁻³	P ⁽³⁾ mg dm ⁻³	K ⁽³⁾ mg dm ⁻³	Al ⁽⁴⁾ cmol _c dm ⁻³	Ca ⁽⁴⁾ cmol _c dm ⁻³	Mg ⁽⁴⁾ cmol _c dm ⁻³	H+Al ⁽⁵⁾ cmol _c dm ⁻³	CTC ⁽⁶⁾ cmol _c dm ⁻³	V ⁽⁷⁾ %	Dsolo ⁽⁸⁾ g cm ⁻³	Argila g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Areia g kg ⁻¹
Londrina														
0–10	5,2	15,3	36,2	227	0,00	3,65	2,22	4,82	11,27	57,2	1,32	732	161	107
10–20	5,2	15,0	31,3	257	0,01	3,78	2,28	4,98	11,70	57,3	1,31	762	146	92
Cascavel														
0–10	4,76	30,5	24,7	124	0,19	5,21	1,46	5,66	12,49	54,7	1,12	655	220	125
10–20	4,64	27,4	16,6	94	0,32	4,17	1,18	5,90	11,48	48,7	1,10	690	204	106
Ponta Grossa														
0–10	4,6	23,9	11,2	121	0,16	2,84	0,99	5,72	9,85	42,0	1,29	526	77	397
10–20	4,8	22,8	4,7	133	0,06	3,03	1,12	5,59	10,09	45,0	1,10	570	65	365

⁽¹⁾ Potencial hidrogeniônico (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹). ⁽²⁾ Carbono orgânico do solo. ⁽³⁾ Fósforo disponível e potássio trocável (Mehlich-1). ⁽⁴⁾ Alumínio, cálcio e magnésio trocáveis (KCl 1 mol L⁻¹). ⁽⁵⁾ Acidez potencial (acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0). ⁽⁶⁾ Capacidade de troca catiônica. ⁽⁷⁾ Saturação por bases. ⁽⁸⁾ Densidade aparente do solo.

Os ensaios foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, contemplando o arranjo fatorial 2 × 3 × 4, sendo dois genótipos de trigo (cultivar BRS Anambé [ou WT 15-008] e WT 15-025), três densidades de semeadura (250, 350 e 450 sementes m⁻²) e quatro doses de N (0, 40, 80 e 120 kg N ha⁻¹) aplicadas em cobertura.

O genótipo WT 15-008 possui um ciclo médio de 120 dias (emergência até maturação) e altura média de 74 cm. Destaca-se como um trigo com elevada resistência à germinação de grãos na espiga (dados não publicados). Por sua vez, o WT 15-025 também apresenta ciclo de desenvolvimento médio, cerca de 128 dias, e altura média de 76 cm (dados não publicados).

A parcela experimental foi composta por 9 linhas de semeadura com 6 m de comprimento, espaçadas 0,18 m entre si, totalizando 9,6 m². O trigo foi semeado (Londrina = 25/04; Cascavel = 08/05; Ponta Grossa = 21/06) sobre palhada de soja, em sistema de plantio direto, em sulcos com aproximadamente 4 cm de profundidade. A adubação de base no sulco de semeadura foi composta por 100 kg

ha⁻¹ do formulado 00-20-30 (N-P₂O-K₂O) (CBPTT, 2018). Os tratamentos com adubação nitrogenada em cobertura foram aplicados no início do perfilhamento da cultura (estádios fenológicos Z22-Z23 da escala de ZADOKS; CHANG; KONZAC, 1974), utilizando como fonte de N o nitrato de amônio (32% de N).

No ambiente de Londrina houve suplementação hídrica, por meio de um sistema de irrigação autopropelido por aspersão, sendo aplicadas 3 lâminas de irrigação: uma em pré-semeadura, com 25 mm, e duas durante o estabelecimento das plântulas, sendo a primeira de 25 mm e a segunda de 15 mm (Figura 1A). O manejo fitossanitário e demais tratos culturais foram baseados nas indicações da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (CBPTT, 2018).

Na semana anterior à colheita do experimento foram avaliados: a altura de plantas (média de cinco plantas por parcela, medidas do solo ao ápice da espiga), o acamamento de plantas (método visual adaptado de EMBRAPA, 2009) e a densidade de espigas (espigas por m²; por meio da contagem do número total de espigas em duas linhas com 0,5 m de extensão). Para determinar o rendimento de sementes, foi realizada a colheita (7 linhas centrais × 6 m de comprimento. Londrina = 28/08; Cascavel = 04/10; Ponta Grossa = 22/11) com colhedora automotriz desenvolvida para experimentação agrônômica (Wintersteiger®), registrando-se a massa de sementes após ajuste da umidade para 13%, sendo os resultados expressos em kg ha⁻¹.

Imediatamente após a colheita, foram amostrados 2 kg de sementes de cada parcela experimental para análises fisiológicas de sementes. As amostras foram mantidas em câmara fria (7–10 °C) até a realização das seguintes análises laboratoriais:

Peso hectolítrico (PH): determinado por meio da avaliação da massa de 100 litros de sementes de trigo, expresso em quilogramas por hectolitro (kg hL⁻¹) (BRASIL, 2009);

Massa de mil sementes (MMG): obtida mediante a contagem e pesagem de oito repetições de 100 sementes de trigo por parcela sendo, posteriormente, a média das oito repetições multiplicada por dez (BRASIL, 2009).

Primeira contagem e germinação: realizada com oito repetições de 50 sementes por tratamento, em papel de germinação umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos de papel foram mantidos sob temperatura constante de 20 °C. Aos quatro (primeira contagem) e aos oito dias

(contagem final) após a instalação do teste realizou-se a análise das sementes registrando o número de plântulas normais, sendo os resultados expressos em porcentagem (BRASIL, 2009).

Emergência de plântulas: foi realizado utilizando quatro repetições de 50 sementes, as quais foram semeadas em caixas de areia a aproximadamente 4 cm de profundidade. Após 15 dias da semeadura, foi contabilizado o número de plântulas emersas, isto é, com desenvolvimento normal de parte aérea, sendo o resultado expresso em porcentagem.

Índice de velocidade de emergência (IVE): foi conduzido em conjunto com o teste de emergência de plântulas, sendo as contagens de plântulas emergidas (com desenvolvimento normal da parte aérea) realizadas diariamente, sem o descarte das mesmas, obtendo-se assim, um valor cumulativo. Desse modo, com o número de plântulas emergidas referentes a cada leitura, foi calculado o IVE (MAGUIRE, 1962).

Comprimento de plântulas: realizado a partir da semeadura de quatro repetições de 20 sementes por tratamento, no terço superior do papel de germinação, umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos de papel foram acondicionados em germinador por cinco dias a 20 °C no escuro. Ao final deste período, foi efetuada a medida do comprimento das plântulas normais (comprimento de parte aérea e de raiz), com auxílio de uma régua graduada. Os resultados foram expressos em centímetros por plântula.

Massa seca de plântulas: as plântulas normais, obtidas no teste de comprimento de plântulas (parte aérea e raiz) foram levadas à estufa com circulação de ar forçada a 80 °C por 48 horas. Posteriormente, a massa foi avaliada em balança com precisão de 0,001g, e os resultados médios expressos em miligramas por plântula.

Os resultados experimentais foram analisados, por meio do software R (R CORE TEAM, 2020), individualmente para cada ambiente, sendo submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade de variâncias e, posteriormente, à análise de variância (ANOVA) ao nível de significância de 5% ($P < 0,05$). As médias dos dois tratamentos qualitativos “genótipos de trigo” foram comparados pelo teste F ($P < 0,05$) diretamente na ANOVA. As médias dos três tratamentos quantitativos “densidades de semeadura” foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). As médias dos quatro tratamentos quantitativos “doses de N” foram submetidas às análises de regressão, para ajuste dos modelos linear, quadrático e quadrático base

raiz quadrada, que melhor se ajustam biologicamente aos resultados experimentais, utilizando o software SAEG[®] (EUCLYDES, 1997). Para escolha dos modelos, os coeficientes das equações foram testados pelo teste F, sendo a seleção entre modelos com coeficientes significativos realizada com base no maior coeficiente de determinação (R^2).

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.5.1. Desempenho produtivo

A altura de plantas foi influenciada pela interação entre genótipo e densidade de semeadura em Ponta Grossa e Londrina; no entanto, em Cascavel essa característica não foi alterada pelos fatores estudados (Tabela 2). Em Ponta Grossa, houve diferença entre os genótipos somente nas densidades de 350 e 450 sementes por m^2 , com superioridade da WT 15-025. Em Londrina, a WT 15-025 apresentou maior altura na densidade de 450 sementes por m^2 . Em Ponta Grossa, foi observada diferença entre as densidades de semeadura somente para o WT 15-025, que apresentou a maior e a menor altura na maior e na menor densidade, respectivamente. Em Londrina, somente a WT 15-008 foi influenciada pelas densidades de semeadura, sendo que 350 e 450 sementes por m^2 proporcionaram a maior e a menor altura, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 2. Resumo da análise de variância e médias da altura e acamamento de plantas de dois genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Cascavel, Ponta Grossa e Londrina), com três densidades de semeadura e quatro doses de nitrogênio (N).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		Altura de plantas			Acamamento de plantas		
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina
Bloco	3	4,76	61,3	138	157	31,3	4453
Genótipo (G)	1	51,3 ^{ns}	478 ^{***}	185 ^{***}	5177 ^{***}	459 ^{***}	12444 ^{***}
Densidade (D)	2	11,9 ^{ns}	18,1 ^{ns}	15,1 ^{ns}	164 ^{ns}	32,3 [*]	1696 [*]
Doses de N (N)	3	12,4 ^{ns}	21,4 ^{ns}	15,2 ^{ns}	634 ^{**}	13,9 ^{ns}	120 ^{ns}
G x D	2	4,35 ^{ns}	95,9 ^{**}	37,1 [*]	371 ^{ns}	28,1 [*]	2379 ^{**}
G x N	3	22,4 ^{ns}	3,52 ^{ns}	26,6 ^{ns}	145 ^{ns}	6,60 ^{ns}	81,7 ^{ns}
D x N	6	6,79 ^{ns}	6,72 ^{ns}	13,2 ^{ns}	196 ^{ns}	1,39 ^{ns}	158 ^{ns}
G x D x N	6	20,9 ^{ns}	21,0 ^{ns}	3,17 ^{ns}	92,6 ^{ns}	7,64 ^{ns}	165 ^{ns}
Resíduo	69	13,5	14,3	10,5	123	8,79	374
CV (%)		4,07	5,08	4,73	34,7	56,9	141

Fator	Tratamento	Altura de plantas (cm)			Acamamento de plantas (%)		
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina
Genótipo (G)	WT 15-008	89,6	72,1	67,3	24,6 b	3,02	2,29
	WT 15-025	91,1	76,6	70,0	39,3 a	7,39	25,1
Densidade (D)	250 sementes m ⁻²	91,0	73,5	68,4	29,7	4,06	5,4
	350 sementes m ⁻²	90,3	75,0	69,5	31,9	5,63	16,7
	450 sementes m ⁻²	89,8	74,6	68,2	34,2	5,94	18,9
Doses de N (N)	0 kg ha ⁻¹	89,3	74,4	68,7	26,9	4,38	11,0
	40 kg ha ⁻¹	90,4	75,5	69,7	28,1	4,79	13,5
	80 kg ha ⁻¹	90,7	73,2	68,5	36,3	5,63	16,4
	120 kg ha ⁻¹	90,9	74,3	67,7	36,5	6,04	13,9

GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. ns, *, ** e *** = não significativo, significativo a $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ e $P \leq 0,001$, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesmas letras na coluna, para os fatores genótipo ou densidade, não diferem entre si pelo teste de F ($P \geq 0,05$, de acordo com a análise de variância) ou pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$), respectivamente.

Tabela 3. Desdobramento da altura de plantas (cm) de dois genótipos de trigo (WT 15-008 e WT 15-025) cultivados em Ponta Grossa e Londrina com três densidades de semeadura (250, 350 e 450 sementes por m²).

Densidades	Genótipos			
	Ponta Grossa		Londrina	
	WT 15-008	WT 15-025	WT 15-008	WT 15-025
250	72,5 aA	74,5 bA	67,6 abA	69,1 aA
350	73,5 aB	76,4 abA	68,7 aA	70,2 aA
450	70,4 aB	78,8 aA	65,5 bB	70,8 aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha (individualmente para cada local), não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$) ou pelo teste t, respectivamente.

O acamamento de plantas foi influenciado pela interação entre genótipo e densidade de semeadura em Ponta Grossa e Londrina (Tabela 2). Em Ponta Grossa, houve diferença entre os genótipos em todas as densidades de semeadura avaliadas, com maior acamamento da WT 15-025; sendo que o aumento da densidade de semeadura incrementou o acamamento somente desta cultivar (Tabela 4). Em Londrina houve diferença entre os genótipos somente nas densidades de 350 e 450 sementes por m², sendo que a WT 15-025 apresentou maior acamamento. Além disso, este genótipo apresentou maior acamamento nas densidades 350 e 450 sementes m⁻².

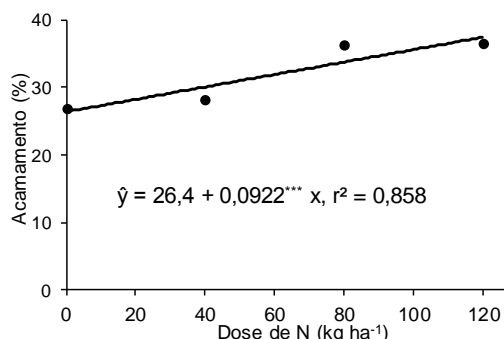
Tabela 4. Desdobramento do acamamento de plantas (%) de dois genótipos de trigo (WT 15-008 e WT 15-025) cultivados em Ponta Grossa e Londrina com três densidades de semeadura (250, 350 e 450 sementes m⁻²).

Densidades	Genótipos			
	Ponta Grossa		Londrina	
	WT 15-008	WT 15-025	WT 15-008	WT 15-025
250	2,81 aB	5,31 bA	3,75 aA	7,00 bA
350	3,44 aB	7,81 abA	2,13 aB	31,3 aA
450	2,81 aB	9,06 aA	1,00 aB	36,9 aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha (individualmente para cada local), não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$) ou pelo teste t, respectivamente.

Em Cascavel houve efeito isolado de genótipo e de dose N para acamamento de plantas (Tabela 2). Assim, como nos outros ambientes estudados, a WT 15-025 também exibiu maior acamamento. Além disso, constatou-se resposta linear crescente do acamamento em função do aumento da dose de N, isto é, houve um incremento aproximado de 1 ponto percentual do acamamento a cada 10 quilos de N adicionado em cobertura (Figura 2).

Figura 2. Acamamento de plantas de trigo em função de doses de nitrogênio (N) em Cascavel-PR.



***, ** e *: significâncias dos coeficientes dos modelos de regressão, pelo F-test a $P < 0,001$, $P < 0,01$ e $P < 0,05$, respectivamente.

De modo geral, o WT 15-025 apresentou maior altura e acamamento de plantas, o que demonstra a elevada influência do genótipo sobre estas características (CRUZ et al., 2003). Além disso, em maiores densidades de semeadura há frequentemente maior crescimento em altura e menor espessura do colmo, tornando as plantas mais sensíveis ao acamamento (BALBINOT JUNIOR et al., 2015), o que explica os resultados obtidos para a WT 15-025.

A aplicação de alta dose de N favorece o acamamento das plantas (TEIXEIRA FILHO et al., 2010). No entanto, as condições edafoclimáticas da região de cultivo também influenciam a absorção deste nutriente e, conseqüentemente, o acamamento. Em Cascavel, a taxa média de acamamento foi superior àquelas observadas nos outros ambientes de cultivo, e somente neste local foi observado efeito da adubação nitrogenada no acamamento.

Isto pode estar relacionado a maior disponibilidade hídrica observada nesta região, durante o ciclo da cultura, em virtude da maior quantidade e melhor distribuição das chuvas (Figura 1). A maior oferta de água, além de influenciar a mineralização da matéria orgânica e disponibilização de N, também favorece a absorção deste nutriente pelas plantas de trigo (BARBOTTIN et al., 2005), o que contribuiu para elevar a taxa de acamamento.

A densidade de espigas (DE), um dos principais componentes de rendimento do trigo, foi influenciado em Cascavel pelas interações: genótipo \times densidade de semeadura, e dose de N \times densidade de semeadura (Tabela 5). Houve diferença de DE entre os genótipos em todas as densidades de semeadura, sendo

que para 250 e 350 sementes por m² a WT 15-008 foi superior à WT 15-025. Por outro lado, para 450 sementes por m² a WT 15-025 obteve maior número de espigas por m². Como esperado, todos os genótipos obtiveram maior DE nesta maior densidade de semeadura (Tabela 6).

Tabela 5. Resumo da análise de variância e médias da densidade de espigas e rendimento de sementes de dois genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Cascavel, Ponta Grossa e Londrina), com três densidades de semeadura e quatro doses de nitrogênio (N).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		Densidade de espigas			Rendimento de sementes		
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina
Bloco	3	2233	70480	2520	1236391	918911	2064163
Genótipo (G)	1	20207**	29392*	3978 ^{ns}	536936*	554691*	1811 ^{ns}
Densidade (D)	2	78799***	14095 ^{ns}	14590*	7749 ^{ns}	734052**	895677***
Doses de N (N)	3	8868*	1616 ^{ns}	100 ^{ns}	118789 ^{ns}	424599*	208521 ^{ns}
G x D	2	44495***	19387 ^{ns}	22,0 ^{ns}	485802**	220571 ^{ns}	439186**
G x N	3	403 ^{ns}	31864**	3776 ^{ns}	224315 ^{ns}	163717 ^{ns}	204819 ^{ns}
D x N	6	7217*	8694 ^{ns}	4902 ^{ns}	84756 ^{ns}	117543 ^{ns}	41106 ^{ns}
G x D x N	6	2242 ^{ns}	5354 ^{ns}	2442 ^{ns}	89594 ^{ns}	142215 ^{ns}	163788 ^{ns}
Resíduo	69	2778	7386	4572	84642	110763	86907
CV (%)		10,6	20,1	19,6	6,28	16,2	12,9

Fator	Tratamento	Densidade de espigas (espigas m ²)			Rendimento de sementes (kg ha ⁻¹)		
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina
Genótipo (G)	WT 15-008	511	444	352	4709	1981 b	2298
	WT 15-025	482	409	339	4559	2134 a	2289
Densidade (D)	250 sementes m ⁻²	443	403	325 b	4625	1916 b	2112
	350 sementes m ⁻²	507	434	344 ab	4653	2039 ab	2330
	450 sementes m ⁻²	541	443	367 a	4625	2217 a	2441
Doses de N (N)	0 kg ha ⁻¹	485	420	343	4647	1877	2287
	40 kg ha ⁻¹	525	436	348	4716	2040	2309
	80 kg ha ⁻¹	471	432	346	4545	2137	2403
	120 kg ha ⁻¹	485	420	345	4628	2176	2176

GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. ns, *, ** e *** = não significativo, significativo a $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ e $P \leq 0,001$, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesmas letras na coluna, para os fatores genótipo ou densidade, não diferem entre si pelo teste de F ($P \geq 0,05$, de acordo com a análise de variância) ou pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$), respectivamente.

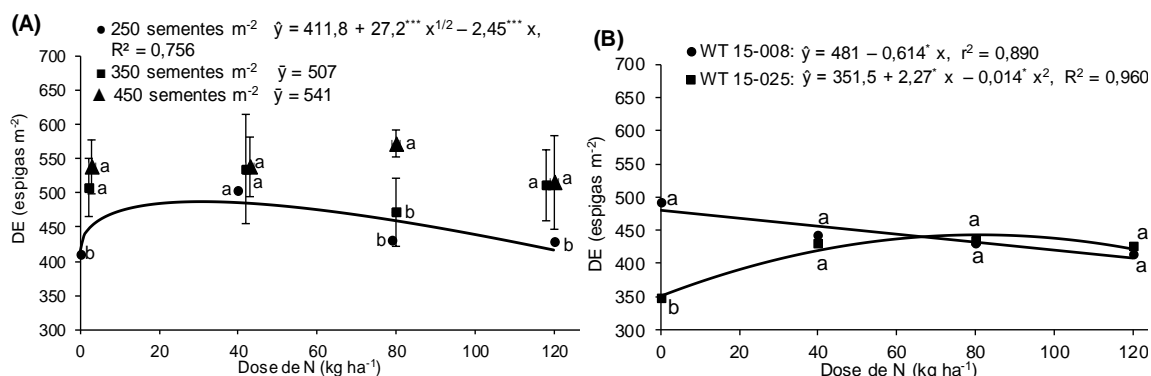
Tabela 6. Desdobramento da densidade de espigas (espigas m⁻²) de dois genótipos de trigo (WT 15-008 e WT 15-025) cultivados em Cascavel com três densidades de semeadura (250, 350 e 450 sementes m⁻²).

Densidades	Genótipos	
	WT 15-008	WT 15-025
250	466 bA	420 bB
350	553 aA	460 bB
450	515 aB	559 aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha (individualmente para cada local), não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$) ou pelo teste t, respectivamente.

Quanto à interação entre densidade de semeadura e dose de N, houve aumento do número de espigas por m² com o aumento da adubação nitrogenada, com ponto de máxima em 30,8 kg ha⁻¹ de N, com ajuste apenas para 250 sementes m⁻² (Figura 3A). Menor número de espigas por m² foi obtido na menor densidade de semeadura, independente da dose de N (exceto para 40 kg ha⁻¹).

Figura 3. Densidade de espigas (DE) de trigo em função de doses de nitrogênio (N) em Cascavel-PR (A) e Ponta Grossa-PR (B).



***, ** e *: significâncias dos coeficientes dos modelos de regressão, pelo F-test a $P < 0,001$, $P < 0,01$ e $P < 0,05$, respectivamente. Barras de erros verticais indicam o intervalo de confiança a 95%, para a média de cada dose de N, individualmente para cada densidade de semeadura ($n = 8$), quando não houve equação de regressão ajustada.

Em Ponta Grossa, a DE foi influenciada pela interação entre genótipo e doses de N (Tabela 5). A DE dos genótipos WT 15-008 e WT 15-025 apresentou resposta linear decrescente e quadrática (com ponto de máximo em 81 kg ha⁻¹ de N), respectivamente, com o aumento das doses de N (Figura 3B). A WT 15-008 teve DE maior do que a WT 15-025 na ausência da adubação nitrogenada.

A aplicação de altas doses de fertilizantes nitrogenados em trigo, além de favorecer o acamamento das plantas, pode causar toxidez às células, prejudicando o desenvolvimento e o desempenho produtivo da cultura (ARGENTA; SILVA;

BORTOLINI, 2001; TEIXEIRA FILHO et al., 2010), como a redução da DE obtido em Cascavel e Ponta Grossa, com o aumento das doses de N.

Em Londrina, a DE foi influenciada somente pela densidade de semeadura, havendo maior número de espigas por área com 450 sementes por m² e menor com 250 sementes por m² (Tabela 5).

O rendimento de sementes foi alterado pela interação entre genótipos e densidades de semeadura em Cascavel e em Londrina (Tabela 5). Por outro lado, em Ponta Grossa, os três fatores (genótipos, densidades de semeadura e doses de N) influenciaram o rendimento de sementes.

Em Cascavel, o rendimento de sementes foi influenciado pelos genótipos na menor e na maior densidade de semeadura (250 e 450 sementes por m², respectivamente), com maior rendimento da WT 15-008 nas duas situações (Tabela 7). A WT 15-025 foi o genótipo que apresentou maior rendimento de sementes com uso de densidade de semeadura intermediária (350 sementes por m²), e efeito contrário ocorreu na maior densidade (450 sementes por m²) onde a WT 15-008 se destacou positivamente. As condições edafoclimáticas desta região, como chuvas bem distribuídas, temperaturas adequadas e a boa condição do solo, favoreceram o desempenho da cultura e, por isso, neste local, foram observados os maiores valores médios de rendimento de sementes.

Tabela 7. Desdobramento do rendimento de sementes (kg ha⁻¹) de dois genótipos de trigo (WT 15-008 e WT 15-025) cultivados em Cascavel e Londrina com três densidades de semeadura (250, 350 e 450 sementes m⁻²).

Densidades	Genótipos			
	Cascavel		Londrina	
	WT 15-008	WT 15-025	WT 15-008	WT 15-025
250	4741 aA	4509 abB	2145 bA	2078 bA
350	4589 aA	4716 aA	2434 aA	2225 bB
450	4797 aA	4453 bB	2316 abB	2565 aA

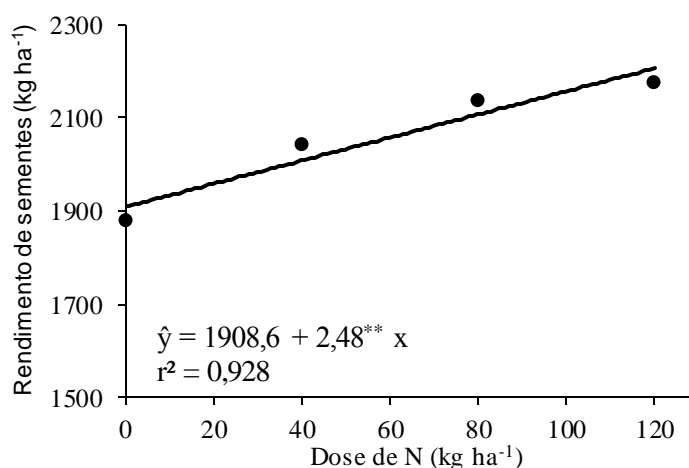
Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha (individualmente para cada local), não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$) ou pelo teste t, respectivamente.

Em Londrina, o rendimento de sementes da WT 15-008 foi maior com 350 sementes por m², e a WT 15-025 teve melhor resultado com 450 sementes por m² (Tabela 7). O rendimento de sementes da WT 15-008 com 450 sementes por m² não diferiu das demais densidades de semeadura. Cardoso et al. (2021) também

constatarem aumento do rendimento de sementes de trigo em função do aumento da densidade de semeadura até próximo de 450 sementes por m².

Em Ponta Grossa observou-se que a WT 15-025 foi superior à WT 15-008 (Tabela 5). Quanto à densidade de semeadura, assim como em Londrina, neste ambiente de cultivo os maiores rendimentos foram obtidos na maior densidade estudada e os menores, na menor população de plantas. Na densidade intermediária, os resultados não diferiram significativamente dos demais. Houve aumento linear do rendimento de sementes com o aumento da dose de N, com incremento de 2,48 kg de sementes para cada quilo de N adicionado em cobertura (Figura 4).

Figura 4. Rendimento de sementes em função de doses de nitrogênio (N) aplicadas em cobertura na cultura do trigo cultivado em Ponta Grossa-PR.



***, ** e *: significâncias dos coeficientes dos modelos de regressão, pelo F-test a $P < 0,001$, $P < 0,01$ e $P < 0,05$, respectivamente.

Estes resultados reforçam que a adequada disponibilidade de N é essencial para elevar a produtividade de sementes e, por isso, a adubação nitrogenada é fundamental (MATTUELLA et al., 2018). Ronsani et al. (2018), trabalhando com a aplicação de N na cultura do trigo, observaram que doses de até 120 kg ha⁻¹ de N promovem o melhor rendimento da cultura, corroborando os resultados obtidos no presente trabalho. Porém, outros aspectos, além do rendimento, devem ser considerados para a definição da melhor dose de N, a fim de garantir a máxima eficiência de uso do nutriente pela cultura e a máxima eficiência econômica, evitando perdas e contaminações ambientais subsequentes, causadas, principalmente, pela aplicação de superdoses de N.

O aumento da densidade de semeadura favoreceu o desempenho produtivo das plantas de trigo em todos os ambientes de cultivo, sobretudo a DE. Os acréscimos observados no número de espigas por m^2 devem-se ao maior número de plantas estabelecidas em função do aumento da densidade de semeadura. Isto ocorreu porque, apesar do aumento da densidade de semeadura acarretar redução do número de perfilhos por planta, ainda ocorre maior incidência de colmos principais e de espigas por área (VALÉRIO et al. 2013), o que influenciou diretamente o rendimento de sementes.

A diferença de comportamento entre os genótipos em um mesmo ambiente de cultivo, em função da densidade de semeadura e da dose de N, está relacionada à diferença na capacidade de adaptação destes genótipos às condições edafoclimáticas, à diferença de duração dos ciclos (que influencia a definição dos componentes do rendimento) e ao período de maturação (GUARIENTI et al., 2005). Costa; Zucareli; Riede (2013) trabalhando com genótipos trigo, observaram que diferentes cultivares apresentam respostas distintas à adubação nitrogenada, semelhantemente aos presentes resultados.

5.5.2. Qualidade fisiológica das sementes

O PH foi influenciado pelo genótipo e pela densidade de semeadura em Cascavel e em Ponta Grossa (Tabela 8). O WT 15-025 apresentou maior PH nestes dois ambientes de cultivo. Em Cascavel, quanto menor a densidade de semeadura, maior foi peso hectolítrico. Em maiores densidades de semeadura, geralmente há maior quantidade de espigas por unidade de área em virtude da maior quantidade de plantas por m^2 , o que aliado às condições específicas de cada ambiente, que inclui disponibilidade hídrica, incidência dos raios solares, entre outros, pode ter intensificado a competição intraespecífica por recursos do meio, afetando o enchimento das sementes (MARZARI et al., 2007) e, conseqüentemente, o PH das sementes produzidas em Cascavel.

Por outro lado, em Ponta Grossa os maiores valores de PH foram obtidos nas maiores densidades (350 e 450 sementes por m^2), o que pode estar associado a maior disponibilidade de recursos neste ambiente, por isso, a competição entre plantas não afetou o desempenho produtivo da cultura. Em Londrina, o PH não foi influenciado pelos fatores estudados.

Tabela 8. Resumo da análise de variância e médias de peso hectolítrico e massa de mil sementes de dois genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Cascavel, Ponta Grossa e Londrina), com três densidades de semeadura e quatro doses de nitrogênio (N).

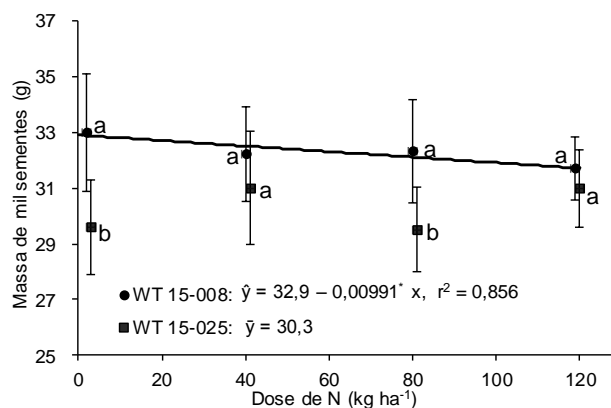
Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		Peso hectolítrico (kg hL ⁻¹)			Massa de mil sementes (g)		
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina
Bloco	3	3,53	6,58	7,82	133	1,64	7,04
Genótipo (G)	1	82,7***	64,7***	1,90 ^{ns}	36,5 ***	98,0***	137***
Densidade (D)	2	11,7*	50,2***	2,06 ^{ns}	5,45 ^{ns}	9,51 ^{ns}	1,41 ^{ns}
Doses de N (N)	3	1,63 ^{ns}	5,96 ^{ns}	0,69 ^{ns}	4,32 ^{ns}	2,21 ^{ns}	0,37 ^{ns}
G x D	2	0,50 ^{ns}	1,88 ^{ns}	0,46 ^{ns}	3,76 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1,72 ^{ns}
G x N	3	0,05 ^{ns}	2,03 ^{ns}	0,98 ^{ns}	4,89 ^{ns}	9,72*	1,68 ^{ns}
D x N	6	1,48 ^{ns}	3,41 ^{ns}	1,12 ^{ns}	1,48 ^{ns}	2,49 ^{ns}	0,33 ^{ns}
G x D x N	6	1,09 ^{ns}	3,57 ^{ns}	3,60 ^{ns}	3,34 ^{ns}	4,80 ^{ns}	1,69 ^{ns}
Resíduo	69	2,48	5,13	1,70	2,67	3,06	1,35
CV (%)		2,07	3,02	1,65	5,10	5,59	3,76

Fator	Tratamento	Peso hectolítrico (kg hL ⁻¹)			Massa de mil sementes (g)		
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina
Genótipo (G)	WT 15-008	75,1 b	74,1 b	79,2	31,4 b	32,3	32,1 a
	WT 15-025	77,0 a	75,8 a	78,9	32,7 a	30,3	29,7 b
Densidade (D)	250 sementes m ²	76,7 a	73,6 b	79,2	32,5	30,7	31,1
	350 sementes m ²	76,1 ab	75,0 a	79,2	31,7	31,7	31,0
	450 sementes m ²	75,4 b	76,1 a	78,8	32,0	31,4	30,7
Doses de N (N)	0 kg ha ⁻¹	76,0	75,6	79,0	32,3	31,3	30,9
	40 kg ha ⁻¹	76,4	74,7	78,8	31,8	31,6	31,1
	80 kg ha ⁻¹	75,7	74,9	79,3	31,6	30,9	31,0
	120 kg ha ⁻¹	76,1	74,5	79,1	32,5	31,4	30,8

GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. ns, *, ** e *** = não significativo, significativo a $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ e $P \leq 0,001$, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesmas letras na coluna, para os fatores genótipo ou densidade, não diferem entre si pelo teste de F ($P \geq 0,05$, de acordo com a análise de variância) ou pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$), respectivamente.

A MMS foi influenciada pela interação entre genótipo e dose de N em Ponta Grossa (Tabela 8). A MMS do WT 15-008 decresceu linearmente em resposta ao aumento da dose de N neste ambiente (Figura 5). Prando et al. (2013), estudando as características produtivas do trigo em função da adubação nitrogenada, verificaram que o aumento nas doses de N reduziu a MMS, em virtude do aumento do acamamento das plantas, corroborando os resultados obtidos para este ambiente. A MMS do WT 15-008 foi superior à WT 15-025, considerando individualmente as doses de 0, 40 e 80 kg ha⁻¹ de N em Ponta Grossa (Figura 5).

Figura 5. Massa de mil sementes em função de doses de nitrogênio (N) aplicadas em cobertura na cultura do trigo cultivado em Ponta Grossa-PR.



***, ** e *: significâncias dos coeficientes dos modelos de regressão, pelo F-test a $P < 0,001$, $P < 0,01$ e $P < 0,05$, respectivamente. Barras de erros verticais indicam o intervalo de confiança a 95%, para a média de cada dose de N, individualmente para cada cultivar de trigo ($n = 12$), quando não houve equação de regressão ajustada.

Em Cascavel e Londrina, a MMS foi influenciada somente pelo genótipo, sendo a WT 15-025 superior em Cascavel e a WT 15-008 em Londrina (Tabela 8). A MMS, assim como o PH, além de ser um importante componente de rendimento, também é considerada um indicativo da qualidade das sementes (BARBIERI et al., 2013). No entanto, nem sempre o genótipo que apresenta maior MMS e PH também será o mais produtivo, pois há outros elementos que constituem os componentes de rendimento. Em Cascavel, o genótipo WT 15-025 apresentou maior PH e MMS e menor rendimento de sementes quando comparada ao WT 15-008. Em Ponta Grossa, o WT 15-008 apresentou maior MMS, mas foi inferior ao WT 15-025 quanto ao rendimento e o PH. Estes comportamentos podem ser atribuídos às diferenças genótípicas entre os genótipos, que inclui a capacidade de compensação em diferentes condições de cultivo, o que explica a obtenção de elevada produtividade mesmo com menor desempenho de alguns componentes do rendimento (ABATI et al., 2018).

A primeira contagem da germinação foi influenciada pelo genótipo em todos os locais de cultivo, sendo que em Cascavel também foi observado efeito isolado de densidade de semeadura (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise de variância e médias da primeira contagem, germinação, emergência de plântulas e índice de velocidade de emergência (IVE) de dois genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Cascavel, Ponta Grossa e Londrina), com três densidades de semeadura e quatro doses de nitrogênio (N).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio											
		Primeira contagem			Germinação			Emergência de plântulas			IVE		
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina
Bloco	3	5,71	83,6	62,9	12,8	9,34	18,0	81,5	144	15,6	0,89	5,27	2,49
Genótipo (G)	1	651***	368***	2420***	360***	173***	689***	513***	124*	2709***	25,3***	19,2***	105***
Densidade (D)	2	75,3*	66,8 ^{ns}	31,8 ^{ns}	18,3 ^{ns}	83,2**	5,93 ^{ns}	27,1 ^{ns}	2,09 ^{ns}	7,95 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,58 ^{ns}
Doses de N (N)	3	31,6 ^{ns}	24,5 ^{ns}	4,60 ^{ns}	18,2 ^{ns}	5,57 ^{ns}	11,4 ^{ns}	57,4*	54,3 ^{ns}	13,0 ^{ns}	1,45 ^{ns}	3,14*	1,02 ^{ns}
G x D	2	7,29 ^{ns}	14,0 ^{ns}	47,5 ^{ns}	3,88 ^{ns}	46,2*	22,6 ^{ns}	12,1 ^{ns}	29,4 ^{ns}	8,09 ^{ns}	0,33 ^{ns}	2,59 ^{ns}	0,59 ^{ns}
G x N	3	36,2 ^{ns}	9,61 ^{ns}	65,2 ^{ns}	17,5 ^{ns}	5,51 ^{ns}	1,26 ^{ns}	29,2 ^{ns}	3,93 ^{ns}	47,1 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,43 ^{ns}
D x N	6	18,2 ^{ns}	12,8 ^{ns}	28,0 ^{ns}	4,07 ^{ns}	16,8 ^{ns}	21,4 ^{ns}	29,3 ^{ns}	26,9 ^{ns}	37,6 ^{ns}	0,99 ^{ns}	1,26 ^{ns}	0,68 ^{ns}
G x D x N	6	37,7 ^{ns}	29,5 ^{ns}	39,7 ^{ns}	10,7 ^{ns}	18,7 ^{ns}	11,9 ^{ns}	14,4 ^{ns}	29,4 ^{ns}	9,47 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,53 ^{ns}
Resíduo	69	20,2	28,7	42,2	9,83	13,2	23,1	17,7	24,7	27,6	0,87	1,07	1,26
CV (%)		4,99	7,31	7,53	3,33	4,01	5,23	4,55	5,63	6,15	8,27	9,04	10,1

Fator	Tratamento	Primeira contagem (%)			Germinação (%)			Emergência de plântulas (%)			IVE		
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina
Genótipo (G)	WT 15-008	93 a	75 a	91 a	96 a	92	95 a	95 a	90 a	91 a	11,8 a	11,9 a	12,2 a
	WT 15-025	87 b	71 b	81 b	92 b	89	89 b	90 b	87 b	80 b	10,8 b	11,0 b	10,1 b
Densidade (D)	250 sementes m ⁻²	88 b	72	86	94	91	92	92	89	85	11,2	11,5	11,2
	350 sementes m ⁻²	90 ab	73	87	94	89	92	93	88	86	11,4	11,4	11,2
	450 sementes m ⁻²	92 a	75	85	95	92	92	93	88	85	11,4	11,3	11,0
Doses de N (N)	0 kg ha ⁻¹	90	73	86	95	90	92	93	89	85	11,3	11,6	11,2
	40 kg ha ⁻¹	92	74	87	95	91	93	94	90	86	11,6	11,8	11,1
	80 kg ha ⁻¹	89	74	86	93	90	92	93	87	85	11,4	11,1	10,9
	120 kg ha ⁻¹	90	72	87	94	91	91	91	87	85	11,0	11,1	11,4

GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. ns, *, ** e *** = não significativo, significativo a $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ e $P \leq 0,001$, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesmas letras na coluna, para os fatores genótipo ou densidade, não diferem entre si pelo teste de F ($P \geq 0,05$, de acordo com a análise de variância) ou pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$), respectivamente.

O genótipo WT 15-008 produziu sementes com maior velocidade de germinação em relação à WT 15-025, em todos os ambientes avaliados (Tabela 9). Em Cascavel, constatou-se que na maior densidade de semeadura houve produção de sementes com maior velocidade de germinação e, por outro lado, na menor densidade de semeadura as sementes produzidas apresentaram menor valor de primeira contagem da germinação. Na densidade de 350 sementes m⁻², a primeira contagem não diferiu dos resultados observados nas outras densidades de semeadura estudadas.

A germinação de sementes avaliada em Ponta Grossa foi influenciada pela interação entre genótipo e densidade de semeadura (Tabela 9). Neste ambiente, foi observada diferença entre os genótipos somente nas densidades de 250 e 350 sementes m⁻², com superioridade da WT 15-008 sobre a WT 15-025. Além disso, o WT 15-025 produziu sementes com maior germinação na densidade de 450 sementes m⁻² (Tabela 10).

Tabela 10. Desdobramento da germinação (%) de sementes de dois genótipos de trigo (WT 15-008 e WT 15-025) cultivados em Ponta Grossa com três densidades de semeadura (250, 350 e 450 sementes m⁻²).

Densidades	Genótipos	
	WT 15-008	WT 15-025
250	93 aA	88 bB
350	91 aA	87 bB
450	92 aA	92 aA

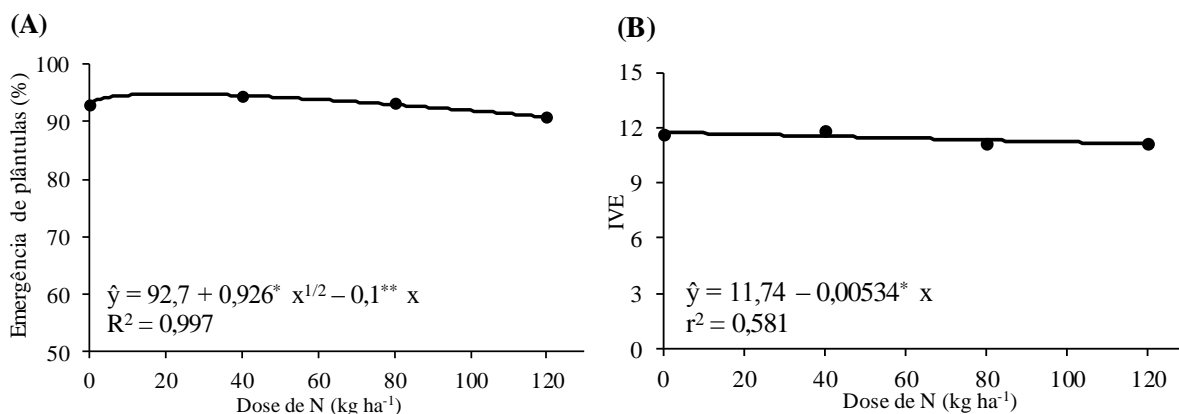
Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha (individualmente para cada local), não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$) ou pelo teste t, respectivamente.

Em Cascavel e Londrina a germinação foi influenciada somente pelo genótipo, sendo o WT 15-008 superior ao WT 15-025 (Tabela 9). Ressalta-se que as sementes produzidas em todos os tratamentos apresentaram elevado desempenho germinativo, isto é, germinação superior à 80%, que é o padrão mínimo estabelecido para a cultura do trigo (BRASIL, 2013), demonstrando a adaptação destes genótipos às três regiões de cultivo.

A emergência de plântulas foi influenciada pelo genótipo em todos os ambientes, sendo que, em Cascavel, também foi observado efeito de doses de N (Tabela 9). O genótipo WT 15-008 apresentou maior emergência de plântulas do que a WT 15-025, em todos os locais. Em Cascavel, houve incremento da emergência de

plântulas com o aumento da dose de N na lavoura anterior, com ponto de máximo com 21 kg ha⁻¹ de N (Figura 6A).

Figura 6. Emergência (A) e índice de velocidade de emergência (IVE) (B) de plântulas de trigo em função de doses de nitrogênio (N), aplicadas em cobertura, em Cascavel-PR e Ponta Grossa-PR, respectivamente.



** e *: significâncias dos coeficientes dos modelos de regressão, pelo F-test a P < 0,01 e P < 0,05, respectivamente.

O IVE também foi influenciado pelo genótipo nos três ambientes avaliados, com maior velocidade de emergência de sementes do WT 15-008 em comparação ao WT 15-025 (Tabela 9). Além disso, também houve efeito da dose de N em Ponta Grossa, com decréscimo linear do IVE em função do aumento das doses N (Figura 6B).

O CPA foi influenciado pelo genótipo em Cascavel e Ponta Grossa, pela interação genótipo x densidade de semeadura, e pelo efeito isolado de doses de N em Londrina (Tabela 11). Houve diferença entre os genótipos, sendo o WT 15-008 superior ao WT 15-025, em Cascavel, Ponta Grossa e em Londrina (em todas densidades de semeadura avaliadas). Neste último ambiente, o WT 15-008 apresentou maior CPA com sementes provenientes de lavouras com 250 sementes m⁻² (Tabela 12). Além disso, houve aumento quadrático do CPA em resposta às doses de N, com ponto de máximo em 68 kg ha⁻¹ de N (Figura 7A).

Tabela 11. Resumo da análise de variância e médias do comprimento de parte aérea, comprimento de raiz, massa seca de parte aérea e massa seca de raiz de plântulas de dois genótipos de trigo cultivados em três ambientes (Cascavel, Ponta Grossa e Londrina), com três densidades de semeadura e quatro doses de nitrogênio (N).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio											
		Comprimento de parte aérea			Comprimento de raiz			Massa seca de parte aérea			Massa seca de raiz		
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina
Bloco	3	2,06	0,52	0,18	13,5	0,49	0,73	1,08	0,09	0,07	1,77	0,62	0,18
Genótipo (G)	1	33,4***	43,8***	17,2***	11,2*	7,47*	10,8***	13,8***	11,1***	8,62***	13,6***	7,67***	6,28***
Densidade (D)	2	0,66 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,19 ^{ns}	3,30 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Doses de N (N)	3	0,43 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,39*	0,83 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,38 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,46*
G x D	2	0,50 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,43*	9,22**	1,99 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,41 ^{ns}	1,56**	0,16 ^{ns}
G x N	3	0,15 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,35 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,04 ^{ns}
D x N	6	0,21 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,93 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,10 ^{ns}
G x D x N	6	0,68 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,13 ^{ns}	1,14 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Resíduo	69	0,39	0,26	0,11	1,73	1,12	0,68	0,19	0,49	0,13	0,18	0,31	0,12
CV (%)		11,2	8,41	6,74	10,6	7,25	6,87	9,84	16,0	9,99	10,6	12,1	10,0

Fator	Tratamento	Comprimento de parte aérea (cm)			Comprimento de raiz (cm)			Massa seca de parte aérea (mg plântula ⁻¹)			Massa seca de raiz (mg plântula ⁻¹)		
		Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina	Cascavel	Ponta Grossa	Londrina
Genótipo (G)	WT 15-008	6,15 a	6,70 a	5,31	12,8	14,9 a	12,4 a	4,86 a	4,69 a	3,87 a	4,40 a	4,87	3,76 a
	WT 15-025	4,97 b	5,35 b	4,53	12,1	14,3 b	11,7 b	4,10 b	4,01 b	3,27 b	3,65 b	4,30	3,25 b
Densidade (D)	250 sementes m ⁻²	5,49	6,14	4,98	12,7	14,5	11,9	4,41	4,25	3,55	4,03	4,46	3,49
	350 sementes m ⁻²	5,72	5,97	4,89	12,6	14,5	12,0	4,56	4,31	3,52	4,09	4,55	3,50
	450 sementes m ⁻²	5,46	5,96	4,90	12,1	14,8	12,2	4,48	4,49	3,63	3,96	4,76	3,52
Doses de N (N)	0 kg ha ⁻¹	5,43	6,03	4,88	12,5	14,6	12,0	4,47	4,40	3,52	4,20	4,53	3,46
	40 kg ha ⁻¹	5,48	6,06	4,92	12,2	14,6	12,1	4,52	4,24	3,53	3,98	4,45	3,40
	80 kg ha ⁻¹	5,59	5,90	4,95	12,6	14,6	12,3	4,41	4,40	3,72	3,92	4,83	3,71
	120 kg ha ⁻¹	5,73	6,11	4,94	12,4	14,6	11,7	4,54	4,36	3,50	4,02	4,53	3,43

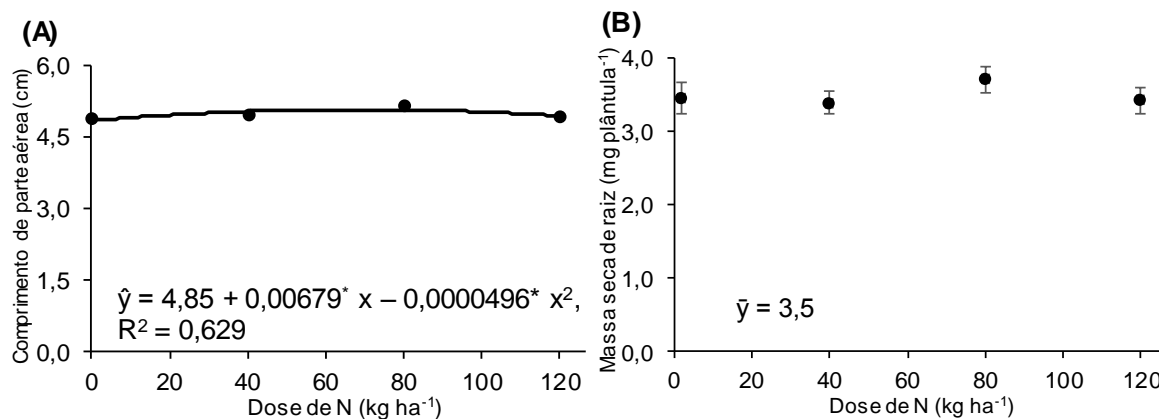
GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. ns, *, ** e *** = não significativo, significativo a $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ e $P \leq 0,001$, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesmas letras na coluna, para os fatores genótipo ou densidade, não diferem entre si pelo teste de F ($P \geq 0,05$, de acordo com a análise de variância) ou pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$), respectivamente.

Tabela 12. Desdobramento do comprimento de parte aérea, comprimento de raiz e massa seca de raiz de dois genótipos de trigo (WT 15-008 e WT 15-025) cultivados em três ambientes (Cascavel, Ponta Grossa e Londrina), com três densidades de semeadura (250, 350 e 450 sementes m⁻²).

Densidades	Genótipos					
	Comprimento de parte aérea (cm)		Comprimento de raiz (cm)		Massa seca de raiz (mg plântula ⁻¹)	
	Londrina		Cascavel		Ponta Grossa	
	WT 15-008	WT 15-025	WT 15-008	WT 15-025	WT 15-008	WT 15-025
250	5,52 aA	4,45 aB	13,1 aA	12,3 aA	4,77 abA	4,14 aB
350	5,25 bA	4,52 aB	13,4 aA	11,7 aB	4,59 bA	4,50 aA
450	5,17 bA	4,63 aB	11,9 bA	12,3 aA	5,24 aA	4,27 aB

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha (individualmente para cada local), não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$) ou pelo teste t, respectivamente.

Figura 7. Comprimento de parte aérea (A) e massa seca de raiz (B) de plântulas em função de doses de nitrogênio (N), aplicadas em cobertura, na cultura do trigo em Londrina-PR.



** e *: significâncias dos coeficientes dos modelos de regressão, pelo F-test a $P < 0,01$ e $P < 0,05$, respectivamente. Barras de erros verticais indicam o intervalo de confiança a 95%, para a média ($n = 24$) de cada dose de N, quando não houve equação de regressão ajustada.

O comprimento de raiz foi influenciado por genótipos em Ponta Grossa e Londrina, sendo o WT 15-008 superior (Tabela 11). Em Cascavel, o comprimento de raiz foi alterado pela interação genótipo x densidade de semeadura, sendo que o WT 15-008 foi superior ao WT 15-025 considerando apenas a densidade de 350 sementes m⁻² (Tabela 12). O WT 15-008 apresentou maior comprimento de raiz nas densidades de 250 e 350 sementes m⁻², enquanto o WT 15-025 não apresentou diferença significativa para CR nas densidades de semeadura estudadas.

A MSPA foi influenciada pelo genótipo em todos os ambientes, sendo que o WT 15-008 apresentou o melhor desempenho nos três locais estudados (Tabela 11).

A MSR teve efeito isolado de genótipo em Cascavel e Londrina, sendo o WT 15-008 superior (Tabela 11). Em Londrina, também houve influência da dose N, no entanto, não houve ajuste de regressão (Figura 7B). Em Ponta Grossa, a MSR foi influenciada pela interação genótipo x densidade de sementeira, sendo que o WT 15-008 teve maior MSR com 250 e 450 sementes m^{-2} (Tabela 12).

Os resultados obtidos demonstram que as sementes produzidas pelo WT 15-008 apresentaram maior qualidade fisiológica do que pelo WT 15-025. Sendo assim, o primeiro genótipo é o mais indicado para a produção de sementes nos três locais de cultivo (Londrina, Cascavel e Ponta Grossa). Isto pode ser atribuído à melhor capacidade de adaptação deste genótipo aos ambientes estudados. De acordo com Gonçalves et al. (2020), a escolha de genótipos com maior adaptabilidade ao ambiente de cultivo é importante para atenuar os possíveis efeitos negativos decorrentes da interação genótipo x ambiente e, assim, garantir melhores resultados.

Com relação à densidade de sementeira, observou-se que, apesar da plasticidade do trigo em compensar falhas ou excessos de plantas no estande (ABATI et al., 2017), o aumento da densidade de sementes m^{-2} favoreceu a maioria das variáveis avaliadas, independentemente do local. A população de plantas estabelecida em uma lavoura geralmente fica abaixo da densidade de sementeira programada, o que já é esperado, pois a germinação, o vigor e as condições edafoclimáticas influenciam diretamente o estabelecimento das plantas no campo de produção (MARINHO et al., 2021). Neste sentido, a utilização de maiores densidades de sementeira permitiu o estabelecimento do estande mais próximo do almejado, o que favoreceu o melhor aproveitamento dos recursos do meio, o que pode estar relacionado às características intrínsecas dos genótipos ou, até mesmo, à menor incidência de plantas daninhas (menor competição interespecífica), devido ao melhor fechamento do dossel.

Quanto à adubação nitrogenada, os resultados enfatizam a importância do N para a formação da semente e reforçam o argumento de que o conteúdo de N absorvido pela planta durante seu ciclo, tem correlação positiva com a qualidade fisiológica das sementes produzidas (BAZZO et al., 2018; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Contudo, os resultados mostraram que a utilização de doses

excessivas de N prejudica a qualidade das sementes, isto porque, o excesso de N pode favorecer o acamamento das plantas (GALETTO et al., 2017) ou, até mesmo, causar toxidez às células (ARGENTA; SILVA; BORTOLINI, 2001), que resulta em menor desempenho da cultura. Bazzo et al. (2018) trabalhando com adubação nitrogenada na produção de sementes de aveia branca, verificaram que o aumento das doses de N em cobertura reduziu alguns atributos da qualidade fisiológica das sementes produzidas (comprimento de plântulas, envelhecimento acelerado, massa seca de raiz, entre outros), o que também foi observado por Zucareli et al. (2012) em milho doce, corroborando os resultados obtidos.

Portanto, é importante ressaltar que apesar de favorecer o rendimento e alguns aspectos da qualidade fisiológica das sementes, a aplicação de N não deve ultrapassar a dose de máxima eficiência econômica, de modo a aumentar a lucratividade final do produtor de sementes.

5.6 CONCLUSÕES

O desempenho produtivo dos genótipos varia em função do ambiente de cultivo. O WT 15-008 produz sementes de melhor qualidade fisiológica nos três ambientes avaliados.

As densidades de semeadura de 350 e 450 sementes por m² favorecem o desempenho produtivo de sementes de trigo nos três locais de cultivo, e ainda, a velocidade e a germinação das sementes produzidas em Cascavel e Ponta Grossa, respectivamente.

A adubação nitrogenada favorece o desempenho produtivo de sementes de trigo, sendo a dose de 40 kg ha⁻¹ de N, aplicada em cobertura, suficiente para garantir maior rendimento e potencial fisiológico das sementes produzidas.

O excesso de nitrogênio proporciona maior porcentagem de acamamento e reduz o vigor das sementes produzidas.

5.7 REFERÊNCIAS

ABATI, J.; BRZEZINSKI, C.R.; FOLONI, J.S.; ZUCARELI, C.; BASSOI, M.C.; HENNING; F.A. Seedling emergence and yield performance of wheat cultivars depending on seed vigor and sowing density. **Journal of Seed Science**, v. 39, n. 1, p. 58-65, 2017

ABATI, J.; BRZEZINSKI, C.R.; ZUCARELI, C.; FOLONI, J.S.S.; HENNING, F.A. Growth and yield of wheat in response to seed vigor and sowing densities. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 4, p. 891-899, 2018.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 715-722, 2001.

BALBINOT JUNIOR, A.A.; PROCÓPIO, S.O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C. **Densidade de plantas na cultura da soja**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2015. 36 p. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n.364). Disponível em: < <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1028747/densidade-de-plantas-na-cultura-da-soja> >. Acesso em: 12 mar.2021.

BARBIERI, A.P.P.; MARTIN, T.N.; MERTZ, L.M.; NUNES, U.R.; CONCEIÇÃO, G.M. Redução populacional de trigo no rendimento e na qualidade fisiológica das sementes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 724-731, 2013.

BARBOTTIN, A.; LECOMTE, C.; BOUCHARD, C.; JEUFFROY, M.H. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: genotypic and environmental effects. **Crop Science**, v. 45, n. 3, p. 1141-1150, 2005.

BAZZO, J.H.B.; RIEDE, C.R.; ARRUDA, K.M.A.; BARBOSA, A.P.; FONSECA, I.C.B.; ZUCARELI, C. Trinexapac-ethyl and topdressing nitrogen levels on the productivity and physiological quality of graniferous white oat seeds. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 3, p. 263-271, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 45 de 2013**. Brasília, DF: MAPA/DAS/CSM, 2013. 38 p.

BRZEZINSKI, C. R.; ZUCARELI, C.; HENNING, F.A.; ABATI, J.; PRANDO, A.M.; HENNING, A.A. Nitrogênio e inoculação com *Azospirillum* na qualidade fisiológica e sanitária de sementes de trigo. **Revista de Ciências Agrárias - Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 57, n. 3, p. 257-265, 2014.

CALISKAN, S.; MAKINECI, E. Effects of carbon and nitrogen content on seed germination of Calabrian pine (*Pinus brutia*) populations. **Bosque**, v. 36, n. 3, p. 435-443, 2015.

CARDOSO, C.P.; BAZZO, J.H.B.; MARINHO, J.L.; ZUCARELI, C. Effect of seed vigor and sowing densities on the yield and physiological potential of wheat seeds. **Journal of Seed Science**, v. 43, e202143002, p. 1-11, 2021

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5.ed. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2012.

CBPTT – Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. **Informações técnicas para trigo e triticale: safra 2018**. Cascavel, PR: Coodetec/CBPTT, 2018. 258 p.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2020/21**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, v. 8, n. 7, 2021. 116 p.

COSTA, L.; ZUCARELI, C.; RIEDE, C.R. Parcelamento da adubação nitrogenada no desempenho produtivo de genótipos de trigo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 215-224, 2013.

CRUZ, P.J.; CARVALHO, F.I.F.; SILVA, S.A.; KUREK, A.J.; BARBIERI, R.L.; CARGNIN, A. Influência do acamamento sobre o rendimento de grãos e outros caracteres em trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 1, p. 05-08, 2003.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi adaptadas às regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste**. Teresina, PI: EMBRAPA Meio Norte, 2009. p. 114-116.

EUCLYDES, R. F. **Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas)**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997.

FOLONI, J.S.S.; BASSOI, M.C.; SILVA, S.R. **Indicações fitotécnicas para cultivares de trigo da Embrapa no Paraná**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2016. (Circular Técnica; 117).

GALETTO, S.L.; BINI, A.R.; HALISKI, A.; SCHARR, D.A.; BORSZOWSKI, P.R.; CAIRES, E.F. Nitrogen fertilization in top dressing for wheat crop in succession to soybean under a no-till system. **Bragantia**, v. 79, n. 2, p. 282-291, 2017.

GONÇALVES, G.M.C.; FERREIRA-GOMES, R.L.; LOPES, A.C.A.; VIEIRA, P.F.M.J. Adaptability and yield stability of soybean genotypes by REML/BLUP and GGE Biplot. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 2, p. 1-9, 2020.

GRIMES, S.J.; PHILLIPS, T.D.; CAPEZZONE, F.; GRAEFF-HÖNNINGER, S. Impact of row spacing, sowing density and nitrogen fertilization on yield and quality traits of chia (*Salvia hispanica* L.) cultivated in southwestern Germany. **Agronomy**, v. 9, n. 3, p. 136-157, 2019.

GROSS, T.F.; DIAS, A.R.; KAPPES, C.; SCHIEBELBEIN, L.M.; ANSELMO, J.L.; HOLANDA, H.V. Comportamento produtivo do trigo em diferentes métodos e densidades de semeadura. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 4, p. 50-60, 2012.

GUARIENTI, E.M.; CIACCO, C.F.; CUNHA, G.R.; DUCCA, L.J.A.; CAMARGO, C.M.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 Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 412-418, 2005.

LOLLATO, R. P.; JAENISCH, B. R.; SILVA, S. R. Genotype-specific nitrogen uptake dynamics and fertilizer management explain contrasting wheat protein concentration. **Crop Science**, v. 61, p. csc2.20442, 2021.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas**. 2. Ed. Londrina, PR: ABRATES, 2015. 660p.

MARINHO, J.L.; SILVA, S.R.; SOUZA, D.N.; FONSECA, I.C.B.; BAZZO, J.H.B.; ZUCARELI, C. Wheat yield and seed physiological quality affected by initial seed vigor, sowing density, and environmental conditions. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 1595-1614, 2021.

MARZARI, V.; MARCHEZAN, E.; SILVA, L.S.; CAMARGO, E.R.; TELÓ, G.M. População de plantas, dose de nitrogênio e aplicação de fungicida na produção de arroz irrigado: I- Características Agronômicas. **Ciência Rural**, v. 3, n. 2, p. 330-336, 2007.

MATTUELLA, D.; SIMIONI, S.P.; SEGATTO, C.; CIGEL, C.; ADAMS, C.R.; KLEIN, C.; LAJÚS, C.R.; SORDI, A. Eficiência agronômica da cultura do trigo submetida a doses de nitrogênio em diferentes estádios ontogênicos. **Ciência Agrícola**, v. 16, n. 3, p. 1-9, 2018.

OHYAMA, T. Nitrogen as a major essential element of plants. In: OHYAMA, T.; SUEYOSHI, K. (Ed). **Nitrogen Assimilation in Plants**. Kerala: Research Signpost, 2010. p. 1-18.

PRANDO, A.M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; OLIVEIRA, F.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 34-41, 2013.

R CORE TEAM (2020). **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Available online at <https://www.R-project.org/>

RONSANI, S.C.; PIVA, J.T.; FIOREZE, S.L.; BASSO, K.C.; RIBEIRO, R.H.; BESEN, M.R. Adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca de cultivares de trigo de duplo propósito. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 2, p. 174-181, 2018.

TAVARES, L.C.V.; FOLONI, J.S.S.; BASSOI, M.C.; PRETE, C.E.C. Genótipos de trigo em diferentes densidades de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 2, p. 166-174, 2014.

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.

VALÉRIO, I.P.; CARVALHO, F.I.F.; BENIN, G.; SILVEIRA, G.; SILVA, J.A.G.; NORBERG, R.; HAGEMANN, T.; LUCHE, H.S.; OLIVEIRA, A.C. Seeding density in wheat: the more, the merrier? **Scientia Agricola**, v. 70, n. 3, p. 176-184, 2013.

ZADOKS, J.C.; CHANG, T.T.; KONZAK, C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v. 14, p. 415-421, 1974.

ZUCARELI, C.; PANOFF, B.; PORTUGAL, G.; FONSECA, I.C.B. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na qualidade fisiológica de sementes de milho doce. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 3, p. 480-487, 2012.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Houve expressivas diferenças no desempenho dos genótipos quando cultivados em diferentes condições edafoclimáticas. Isso evidencia a importância da escolha de cultivares adaptadas às regiões de cultivo, uma vez que, a genética influencia diretamente o crescimento, o desenvolvimento, o rendimento e a qualidade dos grãos e sementes.

Além disso, a indicação técnica do melhor genótipo de trigo deve considerar, além do ambiente e do manejo, a finalidade do campo de produção. Para o desempenho produtivo, a cultivar Quartzo apresentou os melhores resultados e TBIO Toruk o menor desempenho. No entanto, para qualidade tecnológica de grãos e de farinha de trigo, o desempenho dos genótipos variou em função do ambiente. Além disso, as características fitotécnicas e a produtividade de sementes dos genótipos WT 15-008 e WT 15-025 também variaram conforme o ambiente, com vantagens para o primeiro genótipo.

Quanto à adubação nitrogenada, apesar da resposta do trigo variar em função do genótipo e dos locais de cultivo, constatou-se que a aplicação de N favoreceu a maioria das características da cultura, o que evidencia a importância deste nutriente. No entanto, as recomendações de doses de N devem considerar, entre outros fatores, a cultivar utilizada e o ambiente, uma vez que, as condições edafoclimáticas da região de cultivo influenciam a disponibilidade deste nutriente e as diferenças entre os materiais genéticos, principalmente quanto a EUN, o que pode interferir na capacidade de absorção, assimilação e conversão do N e, conseqüentemente, na produtividade e qualidade dos grãos e sementes produzidos.

Além disso, a aplicação de N não deve ultrapassar a dose de máxima eficiência econômica, pois doses muito altas, além de intensificar o acamamento, podem causar toxidez às plantas, maximizar os processos de perdas de N e reduzir a lucratividade final.

A dinâmica do N no solo é muito complexa, o que explica os diferentes resultados encontrados na literatura quanto a influência da adubação nitrogenada na força glúten. Além disso, a alteração desta característica, importante para a classificação do trigo, depende de muitos fatores (como genótipo, ambiente, manejo,

dentro outros), não só da aplicação de N, por isso, recomendações de fertilização somente com esta finalidade não são apropriadas.

Por fim, quanto às densidades de semeadura, observou-se que a utilização de maiores quantidades de sementes por metro quadrado permitiu o estabelecimento do estande mais próximo do almejado, e isto favorece o melhor aproveitamento dos recursos do meio, devido à menor incidência de plantas daninhas (menor competição interespecífica) e ao melhor fechamento do dossel, resultando em melhor desempenho produtivo e qualidade das sementes de trigo.