



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ
CAMPUS LUIZ MENEGHEL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

GABRIEL ZANARDO MARTINS

PROMOTOR HORMONAL DE CRESCIMENTO DE PLANTAS E SEUS EFEITOS
NO CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS E RENDIMENTO DE TRIGO

BANDEIRANTES, PR, BRASIL

2021

GABRIEL ZANARDO MARTINS

**PROMOTOR HORMONAL DE CRESCIMENTO DE PLANTAS E SEUS EFEITOS
NO CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS E RENDIMENTO DE TRIGO**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Agronomia, da Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Ricardo Silva

BANDEIRANTES, PR, BRASIL

2021

Ficha catalográfica elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UENP

MG118p Martins, Gabriel Zanardo
PROMOTOR HORMONAL DE CRESCIMENTO DE PLANTAS E
SEUS EFEITOS NO CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS E
RENDIMENTO DE TRIGO / Gabriel Zanardo Martins;
orientador Sérgio Ricardo Silva - Bandeirantes, 2021.
65 p. :il.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Agronomia) -
Universidade Estadual do Norte do Paraná, Centro de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, 2021.

1. Triticum aestivum L. 2. Hormônio vegetal
sintético. 3. Crescimento radicular. 4. Rendimento
de grãos. 5. Eficiência de uso de nutrientes. I.
Silva, Sérgio Ricardo, orient. II. Título.

GABRIEL ZANARDO MARTINS

**PROMOTOR HORMONAL DE CRESCIMENTO DE PLANTAS E SEUS EFEITOS
NO CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS E RENDIMENTO DE TRIGO**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Agronomia, da Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel.

Aprovado em 19/02/2021

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Sérgio Ricardo Silva – Embrapa Trigo

Profa. Dra. Adriana Queiroz de Almeida – UEFS

Prof. Dr. Oriel Tiago Kölln – UENP



Prof. Dr. Sérgio Ricardo Silva

Orientador

Embrapa Trigo

DEDICATÓRIA

À minha mãe Silvia, meu pai Arildo, familiares, orientador e aos amigos que não me deixaram desistir nos tempos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador Dr. Sérgio Ricardo Silva pela paciência e apoio incondicional.

Aos professores membros das bancas de qualificação e/ou de defesa de Mestrado: Dr. Oriel Tiago Kölln, Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto e Dra. Adriana Queiroz de Almeida pelas importantes contribuições para a melhoria da Dissertação.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, em especial ao pesquisador Dr. Manoel Carlos Bassoi e ao técnico agrícola Fernando Portugal (Embrapa Soja) pela disponibilização de infraestrutura e pela realização dos experimentos de campo. Agradecemos também ao pesquisador Dr. Sirio Wiethölter e à analista Marisa Dahmer pela realização das análises químicas no Laboratório de Fertilidade de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa Trigo. E ao Rubson Sibaldelli (Embrapa Soja) do Laboratório de Agrometeorologia 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 Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná pela bolsa de pesquisa a mim concedida.

Aos colegas que não me deixaram desistir: Hugo, Viviane e Marcelo.

Às pessoas que contribuíram para que este trabalho pudesse se tornar realidade, especialmente minha mãe Silvia, meu pai Arildo e minha madrinha Sandra Zanardo.

EPÍGRAFE

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas apenas o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê”.

Arthur Schopenhauer

MARTINS, Gabriel Zanardo. **Promotor hormonal de crescimento de plantas e seus efeitos no crescimento de plântulas e rendimento de trigo**. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus Luiz Meneghel*, Bandeirantes, 2021.

RESUMO

Diversas substâncias promotoras do crescimento vegetal têm sido comercializadas para uso na agricultura, especialmente hormônios sintéticos, tais como, cinetina (KIN, citocinina), ácido giberélico (GA₃, giberelina) e ácido indolbutírico (IBA, auxina). Porém, faltam trabalhos científicos para comprovar o efeito agrônômico destas substâncias usadas de forma conjunta sobre as principais culturas agrícolas. O objetivo deste trabalho foi avaliar um promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP: 0,09 g L⁻¹ de KIN; 0,05 g L⁻¹ de GA₃; e 0,05 g L⁻¹ de IBA) e seus efeitos no crescimento de plântulas e no rendimento de plantas de trigo, considerando diferentes condições ambientais. Foram desenvolvidos ensaios em casa-de-vegetação e em campo de produção agrícola. Em casa-de-vegetação foram conduzidos dois experimentos independentes. O primeiro foi desenvolvido em papel Germitest[®] e o segundo em solo. Em ambos os casos, foram utilizados delineamentos inteiramente casualizados. O primeiro ensaio, com 10 repetições, foi conduzido em arranjo fatorial 2 × 2 × 4, sendo dois genótipos de trigo (BRS Galha-Azul e BRS Sanhaço), duas doses de PHCP (0 e 5 mL kg⁻¹) aplicadas nas sementes, e quatro períodos (2, 4, 6 e 8 dias após a semeadura-DAS) de crescimento das plântulas, totalizando 160 unidades experimentais. O segundo ensaio continha quatro repetições, com tratamentos dispostos no arranjo fatorial 2 × 2 × 2, sendo dois genótipos de trigo (Galha-Azul e BRS Sanhaço), duas doses de PHCP (0 e 5 mL kg⁻¹) aplicadas nas sementes, e duas doses de PHCP (0 e 0,5 L ha⁻¹) aplicadas nas folhas, totalizando 32 unidades experimentais. Foram avaliados crescimento radicular (número de raízes/plântula e comprimento total/plântula) e foliar (comprimento, largura e área). A aplicação do PHCP nas sementes atrasou o crescimento inicial das raízes e a expansão da área foliar. Porém, este efeito inibitório foi revertido com o avanço da idade das plântulas. A aplicação combinada de PHCP nas sementes e nas folhas ocasionou um efeito antagônico, com sistemática redução do crescimento de raízes das plântulas de trigo. No experimento de campo, realizado em Londrina (PR) nas safras de 2016 e 2017, foi utilizado um delineamento em blocos casualizados, considerando o arranjo fatorial 2 × 3 × 4. Ele foi composto por dois genótipos de trigo (BRS Galha-Azul e BRS Sanhaço), três doses de PHCP (0, 5 e 10 mL kg⁻¹) aplicadas diretamente

nas sementes, e quatro doses de PHCP (0; 0,25; 0,5 e 1 L ha⁻¹) pulverizadas sobre as folhas no perfilhamento pleno (estádio de crescimento EC28 da escala de Zadoks). Foram avaliados alguns componentes de rendimento de grãos, a absorção e a eficiência de utilização de N, P, K, Ca e Mg das cultivares de trigo. O PHCP influenciou algumas características agronômicas das plantas de trigo, a eficiência de utilização e a absorção de nutrientes, principalmente de N. Houve uma diversidade de interações entre materiais genéticos, técnicas de aplicação do PHCP e condições ambientais, que resultaram em um inconsistente padrão de resposta da planta ao PHCP. Concluímos que o PHCP atrasa o crescimento inicial de raízes e a expansão da área foliar das plântulas, e influencia a eficiência de uso de nutrientes pela planta; porém, ele não altera o rendimento de grãos de trigo.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*; Hormônio vegetal sintético; Crescimento radicular; Rendimento de grãos; Eficiência de uso de nutrientes.

MARTINS, Gabriel Zanardo. **Hormone plant growth promoter and its effects on seedling growth and wheat yield.** Master Dissertation in Agronomy – Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2021.

ABSTRACT

Several plant growth promoter substances have been commercialized for use in agriculture, especially synthetic hormones, such as kinetin (KIN, cytokinin), gibberellic acid (GA₃, gibberellin), and indolbutyric acid (IBA, auxin). However, there is a lack of scientific work to prove the agronomic effect of these substances used together on the main agricultural crops. The objective of this work was to evaluate a hormone plant growth promoter (HPGP: 0.09 g L⁻¹ of KIN, 0.05 g L⁻¹ of GA₃, and 0.05 g L⁻¹ of IBA) and its effects on seedling growth and wheat plant yield, considering different environmental conditions. Experiments were performed in a greenhouse and in an agricultural production field. Two independent experiments were carried out in a greenhouse. The first was performed on Germitest[®] paper and the second in soil. In both cases, randomized block designs were used. The first trial, with 10 replicates, was carried out in a 2 × 2 × 4 factorial arrangement, being two wheat genotypes (BRS Gralha-Azul and BRS Sanhaço), two HPGP rates (0 and 5 mL kg⁻¹) applied on the seeds, and four periods (2, 4, 6, and 8 days after sowing-DAS) of seedling growth, totaling 160 experimental units. The second trial had four replicates, with treatments disposed in a 2 × 2 × 2 factorial arrangement, being two wheat genotypes (Gralha-Azul and BRS Sanhaço), two HPGP rates (0 and 5 mL kg⁻¹) applied on the seeds, and two HPGP rates (0 and 0.5 L ha⁻¹) applied on the leaves, totaling 32 experimental units. It was evaluated the root growth (number of roots/seedling, and total root length/seedling) and the leaf growth (length, width, and area). The application of HPGP on the seeds delayed the initial root growth and the leaf area expansion. However, this inhibitory effect was reversed along with the advance of seedling age. The combined application of HPGP on the seeds and on the leaves caused an antagonistic effect, with systematic growth reduction of wheat seedling roots. In the field experiment, carried out in Londrina (PR) in the 2016 and 2017 crop seasons, a randomized block design was used, considering the 2 × 3 × 4 factorial arrangement. It was composed of two wheat genotypes (BRS Gralha-Azul and BRS Sanhaço), three HPGP rates (0, 5, and 10 mL kg⁻¹) applied directly on the seeds, and four rates of the HPGP (0, 0.25, 0.5, and 1 L ha⁻¹) sprayed on the leaves at full tillering (growth stage GS28 of the Zadoks' scale). Some grain yield components, the uptake and the utilization efficiency of N, P, K, Ca, and Mg of wheat cultivars were evaluated. The HPGP influenced some agronomic

features of wheat plants, the utilization efficiency and the uptake of nutrients, mainly N. There was a diversity of interactions among genetic materials, HPGP application techniques, and environmental conditions, which resulted in an inconsistent plant response pattern to HPGP. We conclude that the HPGP delays the initial root growth and the leaf area expansion of seedlings, and influences the nutrient use efficiency by the plant; however, it does not change the wheat grain yield.

Keywords: *Triticum aestivum*; Synthetic plant hormone; Root growth; Grain yield; Nutrient use efficiency.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO A

Figura 1 – Desdobramento da análise de variância para número de raízes, comprimento e profundidade radiculares, e área foliar de plântulas de dois genótipos de trigo (BRS Galha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados em papel de germinação (Germitest[®]) durante quatro períodos (2, 4, 6 e 8 dias após sementeira), em função de duas doses de promotor hormonal de crescimento de plantas (0 mL kg⁻¹ e 5 mL kg⁻¹) aplicadas nas sementes 26

Figura 2 – Plântulas de dois genótipos de trigo (BRS Galha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados em papel de germinação (Germitest[®]), aos 2 dias após a sementeira, em resposta a duas doses (0 e 5 mL kg⁻¹) de um promotor hormonal de crescimento de plantas aplicado nas sementes. 27

CAPÍTULO B

Figura 1 – Precipitação, temperatura média e balanço hídrico (Thorntwaite e Mather, 1955) nas safras de trigo de 2016 (29/04 a 14/09 = 139 dias; gráficos "a" e "c") e 2017 (11/05 a 21/09 = 134 dias; gráficos "b" e "d") no município de Londrina, estado do Paraná, Brasil 44

Figura 2 – Desdobramento da análise de variância para peso hectolítrico (gráfico "a") e peso de mil grãos (gráfico "b") de dois genótipos de trigo (BRS Galha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados em Londrina (PR) nas safras de 2016 e 2017, em função de doses de promotor hormonal de crescimento de plantas aplicadas nas sementes (0, 5 e 10 mL kg⁻¹) e/ou nas folhas (0; 0,25; 0,5 e 1 L ha⁻¹) 47

Figura 3 – Desdobramento da análise de variância para concentrações de nitrogênio (N; gráficos "a" e "b") e de potássio (K; gráfico "c") na matéria seca da parte aérea de plantas no estágio de florescimento; e eficiência de utilização de N (gráfico "d") de dois genótipos de trigo (BRS Galha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados em Londrina (PR) nas safras de 2016 e 2017, em função de doses de promotor hormonal de crescimento de plantas aplicadas nas sementes (0, 5 e 10 mL kg⁻¹) e/ou nas folhas (0; 0,25; 0,5 e 1 L ha⁻¹) 50

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO A

- Tabela 1** – Significância (*P-value*) da análise de variância dos efeitos principais [período (P), genótipo (G), e dose de promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) na semente (S)] e de suas interações; e médias de número de raízes, comprimento e profundidade radiculares, e área foliar de plântulas de dois genótipos de trigo (BRS Galha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados em papel de germinação (Germitest[®]) durante quatro períodos (2, 4, 6 e 8 dias após semeadura), em função de duas doses de PHCP (0 e 5 mL kg⁻¹) aplicadas nas sementes 25
- Tabela 2** – Significância (*P-value*) da análise de variância dos efeitos principais [genótipo (G), dose de promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) na semente (S), e dose de PHCP via foliar (F)] e de suas interações; e médias de número de raízes e comprimento radicular por plântula; comprimento, largura e área foliares de dois genótipos de trigo (BRS Galha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados durante 14 dias em vasos em condições controladas de casa de vegetação, em resposta à aplicação de PHCP nas sementes e nas folhas 29
- Tabela 3** – Desdobramento da análise de variância para número e comprimento de raízes por planta, e largura de folha de plântulas de dois genótipos de trigo (BRS Galha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados durante 14 dias em vasos em condições controladas de casa de vegetação, em resposta à aplicação de um promotor hormonal de crescimento de plantas nas sementes e nas folhas 30

CAPÍTULO B

- Tabela 1** – Propriedades químicas e físicas do solo (camadas de 0–10 e 10–20 cm) do experimento conduzido no município de Londrina, estado do Paraná, Brasil, nas safras de 2016 e 2017 40
- Tabela 2** – Significância (*P-value*) da análise de variância dos efeitos principais [genótipo, doses de promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) nas sementes ou nas folhas] e de suas interações; e médias de rendimento de grãos, peso hectolítrico, peso de mil grãos, densidade de plantas férteis, acamamento e altura de plantas de trigo, cultivado em Londrina (PR) nas safras de 2016 e 2017 46

Tabela 3 – Significância (P-value) da análise de variância dos efeitos principais (genótipo, doses de promotor hormonal de crescimento de plantas nas sementes ou nas folhas) e de suas interações; e médias de matéria seca da parte aérea (MSPA) e de concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na MSPA de plantas de trigo, cultivado em Londrina (PR) nas safras de 2016 e 2017	48
Tabela 4 – Significância (P-value) da análise de variância dos efeitos principais (genótipo, doses de promotor hormonal de crescimento de plantas nas sementes ou nas folhas) e de suas interações; e médias de conteúdo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na matéria seca da parte aérea de plantas de trigo, cultivado em Londrina (PR) nas safras de 2016 e 2017	51
Tabela 5 – Significância (P-value) da análise de variância dos efeitos principais (genótipo, doses de promotor hormonal de crescimento de plantas nas sementes ou nas folhas) e de suas interações; e médias de eficiências de utilização de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio para produção de matéria seca aérea de plantas de trigo, cultivado em Londrina (PR) nas safras de 2016 e 2017	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. A cultura do trigo	4
2.2. Hormônios vegetais e seus mecanismos de ação	5
2.3. Principais hormônios vegetais sintéticos utilizados na agricultura	7
2.4. Hormônios vegetais sintéticos utilizados como promotores do crescimento de trigo	9
2.5. Nutrientes minerais e sua interação com hormônios vegetais em plantas de trigo	9
REFERÊNCIAS	14
3. CAPÍTULO A – PLÂNTULAS DE TRIGO AFETADAS POR UM PROMOTOR HORMONAL DE CRESCIMENTO VEGETAL	18
3.1. INTRODUÇÃO	19
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.3. RESULTADOS.....	24
3.4. DISCUSSÃO	30
3.5. CONCLUSÕES	32
3.6. REFERÊNCIAS.....	33
4. CAPÍTULO B – PROMOTOR HORMONAL DE CRESCIMENTO DE PLANTAS E SEUS EFEITOS NA ABSORÇÃO DE N, P, K, Ca E Mg E NO RENDIMENTO DE GRÃOS DE TRIGO.....	36
4.1. INTRODUÇÃO	37
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	39
4.3. RESULTADOS.....	43
4.4. DISCUSSÃO	53
4.5. CONCLUSÕES	56
4.6. REFERÊNCIAS.....	56
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
6. ANEXO A	61

1. INTRODUÇÃO GERAL

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma importante cultura de inverno, sendo um dos três cereais (juntamente com milho e arroz) mais cultivados no mundo e um alimento que tem proporcionado segurança alimentar e nutricional a várias populações ao longo da história (OLIVEIRA NETO; SANTOS, 2017).

No Brasil, o rendimento de grãos da cultura de trigo tem aumentado gradativamente nas últimas décadas. A média de rendimento de grãos de trigo no Brasil aumentou entre os anos de 1998 e 2018, de 1.593 para 2.657 kg ha⁻¹, ou seja, um aumento de 66,7%. No Estado do Paraná, neste mesmo período, o rendimento de grãos passou de 1.660 para 2.582 kg ha⁻¹, representando um aumento de aproximadamente 55,5% (CONAB, 2021). No Brasil, na safra de 2020/21 a área de semeadura de trigo foi de 2,34 milhões de hectares (sendo 2,11 milhões de hectares na região sul) e o rendimento de grãos foi em média de 2.663 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021).

O Paraná é um estado com bom histórico tritícola, sendo que a área de semeadura progrediu em duas décadas de 0,78 milhões de hectares na safra de 2000/01 para 1,12 milhões de hectares em 2020/21, um aumento médio de 43,6% (CONAB, 2021). Neste contexto, a produção de trigo no estado passou de 0,58 milhões de toneladas em 2000/21 para 3,09 milhões de toneladas em 2020/21 (CONAB, 2021).

A despeito dos progressos alcançados, o Brasil ainda não é autossuficiente na produção de trigo, sendo necessário importar mais da metade de sua demanda interna (CONAB, 2020).

Há evidências de que o rendimento de grãos de cereais como o trigo possa ser melhorado por meio da utilização de substâncias promotoras do crescimento vegetal (ABDOLI et al., 2010). Recentemente, várias destas substâncias têm sido registradas para uso na agricultura, como bioreguladores ou reguladores vegetais, que são substâncias químicas aplicadas exogenamente para proporcionar efeitos sobre o metabolismo da planta, de maneira similar aos hormônios vegetais naturais (SILVA e PIRES, 2017).

Os hormônios são mensageiros químicos produzidos pelas células que modulam os processos fisiológicos e metabólicos, mesmo sob baixas concentrações (TAIZ e ZEIGER, 2013). Eles influenciam o crescimento e desenvolvimento da planta, inclusive alterando sua morfologia. Neste contexto, destacam-se os seguintes hormônios vegetais: auxinas, giberelinas, citocininas, etileno e ácidos abscísicos.

O ácido indol-3-acético (AIA) é uma auxina sintética amplamente estudada na agricultura. Por exemplo, Cai et al. (2018) comprovaram que a aplicação exógena deste hormônio inibiu parcialmente o perfilhamento na cultura do trigo. Além disso, a ação do AIA

sob condições adversas de déficit hídrico pode melhorar a tolerância de cultivares de trigo à escassez de água, como demonstrado por Muhammd et al. (2016). Por sua vez, Cai et al. (2014) pesquisando o uso de substâncias hormonais sintéticas na cultura do trigo concluíram que aplicações de AIA ou zeatina e ácido giberélico (GA₃) resultaram em incremento médio de rendimento de grãos na cultura do trigo de 15,2 e 8,4%, respectivamente. Além disso, estudo realizado por Iqbal e Ashraft (2013) sobre a eficácia da aplicação de GA₃ em cultivares de trigo sob estresse salino, demonstrou que a aplicação exógena deste hormônio foi eficiente em reduzir os efeitos indesejáveis causados pela salinidade. Nesse mesmo trabalho, as sementes tratadas com GA₃ aumentaram o rendimento de grãos das plantas sob condições salinas em 80% para a cultivar MH-97 e 43% para cultivar Inqlab-91.

A interação planta × hormônio tem sido objeto de estudo de vários grupos de pesquisadores. Nagar et al. (2014) comprovaram a eficácia da aplicação de citocinina em plantas de trigo submetidas ao estresse hídrico, obtendo resultados positivos da ação deste hormônio sobre os teores de nitrogênio (N) nas folhas, chegando a aumentar em 9% o conteúdo de N no estágio de pré-antese da cultivar PBW-343. O rendimento de grãos foi afetado positivamente pela interação citocinina × N, havendo aumento no rendimento de grãos de 83,3% para a cultivar C-306 e de 150% para a cultivar PBW-343. Esses autores também constataram que a citocinina é um importante agente no metabolismo do N, sendo um mediador em sua absorção, transporte e assimilação pela planta (SAKAKIBARA et al., 2006). A interação entre hormônios e nutrientes ocorre também com as auxinas, que fazem parte das vias de sinalização do N e do potássio (K) (ASHLEY et al., 2006; ZHANG et al., 2007).

A citocinina sintética 6-benzylaminopurine (6-BA) é capaz de mitigar danos causados pelo estresse térmico em plantas de trigo. Yang et al. (2016) concluíram que o 6-BA foi capaz de aumentar o rendimento de grãos de duas cultivares de trigo sob estresse térmico (submetidas a uma faixa de temperatura entre 27,9 a 37,5 °C), apresentando um aumento de 9,5% para a cultivar Wennong 6 e de 16,3% para a cultivar Jimaji20. A ação do 6-BA também foi avaliada por Zheng et al. (2016), que comprovaram o efeito benéfico da aplicação exógena deste hormônio sob a formação de flores e, conseqüentemente, sobre o aumento do rendimento de grãos de cultivares de trigo.

Outros fatores que estão diretamente relacionados com a produtividade vegetal são o acúmulo de matéria seca e de nutrientes na parte aérea das plantas, como o N (McMULLAN et al., 1988) e o potássio (K) (ZHAN et al., 2016). Considerando a interação entre hormônios vegetais e nutrientes minerais, e sua relação com o aumento de rendimento de grãos de

cultivares de trigo, identifica-se aqui uma oportunidade de pesquisa para subsidiar os agricultores.

Entre as substâncias hormonais sintéticas comercializadas no Brasil para fins agrícolas, destacamos a cinetina, o GA₃ e o ácido indolbutírico, que têm sido utilizadas em conjunto em um produto promotor do crescimento de várias culturas agrícolas (CATO et al., 2013).

O objetivo deste trabalho foi avaliar um promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP: 0,09 g L⁻¹ de KIN; 0,05 g L⁻¹ de GA₃; e 0,05 g L⁻¹ de IBA) e seus efeitos no crescimento de plântulas e no rendimento de grãos de trigo, considerando diferentes condições ambientais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do trigo

O trigo (*Triticum aestivum* L.), pertencente à família *Poaceae* (previamente chamada de *Gramineae*), é uma monocotiledônea cuja altura varia de acordo com o genótipo e com o ambiente (SCHEEREN et al., 2015). O sistema radicular fasciculado é composto por raízes seminais, permanentes e adventícias. O colmo é geralmente oco e cilíndrico e pode apresentar de três a oito folhas. Cerca de 15 dias após a germinação ocorre a formação de novos colmos, fase denominada perfilhamento. A inflorescência do trigo é uma espiga formada por espiguetas que, por sua vez, são constituídas de flores. Cada flor origina um único fruto do tipo cariopse, seco e pequeno, denominado grão.

A planta de trigo possui metabolismo fotossintético do tipo C3, sendo que temperaturas altas exercem efeitos deletérios, especialmente na fase de enchimento de grãos (TAIZ et al., 2017). O aumento da fotorespiração e a diminuição da fotossíntese líquida aceleram a senescência das folhas em condições de temperaturas elevadas. De fato, a temperatura é um fator limitante quando se trata da cultura do trigo, uma vez que grande parte dos materiais genéticos passam pela vernalização (necessidade de acúmulo de períodos de baixas temperaturas durante os estádios de germinação–formação do colmo), que é um processo importante para que a planta passe para as fases seguintes em boas condições de atingir maior rendimento de grãos (MANFRON et al., 1993).

O trigo é um dos três cereais mais cultivados no mundo (juntamente com arroz e milho), apresentando ampla adaptação edafoclimática, sendo cultivado desde regiões com clima desértico até locais com alta precipitação pluviométrica (CONAB, 2017; OLIVEIRA NETO e SANTOS, 2017). Segundo estimativas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos para a safra mundial de 2020/21, a área colhida foi de 221,9 milhões de hectares e a produção de 773,4 milhões de toneladas (USDA, 2021). Os principais produtores de trigo são: China, União Europeia, Índia, Rússia, Estados Unidos da América e Canadá.

O Brasil ocupa a 16ª posição entre os maiores produtores de trigo, cuja colheita foi de 6,3 milhões de toneladas para a safra 2020/21 (CONAB, 2021). Nesta safra a área brasileira de semeadura de trigo foi de 2,34 milhões de hectares (sendo 2,11 milhões de hectares na região sul) e o rendimento de grãos foi de 2.663 kg ha⁻¹. No entanto, segundo a Companhia Nacional do Abastecimento o Brasil não é autossuficiente na produção de trigo, dependendo da importação de mais da metade de seu consumo interno (CONAB, 2020).

No Brasil, a região Sul detém cerca de 90% da produção nacional de trigo e estima-se que aproximadamente 94,5% desta quantidade seja destinada ao processamento industrial, sendo armazenado em torno de 2,5% como semente (para uso na próxima safra) e o restante utilizado na alimentação animal (MORI e IGNACZAK, 2011).

Atualmente, o trigo é utilizado na alimentação humana (farinha, macarrão, biscoitos, bolos, pães, etc.), na elaboração de produtos não alimentícios (misturas adesivas ou de laminação para papéis ou madeiras, colas, misturas para impressão, agentes surfactantes, embalagens solúveis ou comestíveis, álcool, antibióticos, vitaminas, fármacos, cosméticos, etc.), bem como na alimentação animal na forma de forragem, de grão ou na composição de rações (MACIEL et al., 2014; SENGER, 2017).

2.2. Hormônios vegetais e seus mecanismos de ação

Hormônios vegetais, também referidos como fitohormônios, são um grupo de substâncias que ocorrem naturalmente, os quais possuem influência em processos fisiológicos em baixas concentrações (DAVIES, 2010). Segundo VIEIRA et al. (2010) os hormônios vegetais podem promover modificações fisiológicas ou morfológicas nas plantas, influenciando a germinação, o crescimento e o desenvolvimento do vegetal. Como por exemplo, eles atuam nos processos de florescimento, frutificação, senescência e abscisão, ou seja, eles podem influenciar todas as fases da vida do vegetal (TAIZ et al., 2017). Eles apresentam ação quimicamente complexa, atuando de forma integrada na regulação de todas as fases fenológicas do vegetal.

Segundo Morzelle et al. (2017), os hormônios vegetais são substâncias químicas que atuam de forma integrada na regulação do processo de crescimento e desenvolvimento do vegetal, por meio de ação coordenada para manutenção da homeostase vegetal, tendo como funções gerais a divisão, expansão e diferenciação celular. De acordo com esses autores, atualmente os principais hormônios de interesse no uso agrícola são as auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico, etileno, brassinosteroides, jasmonatos, ácido salicílico e poliaminas. Eles são divididos em dois grupos: 'classes principais' (os cinco primeiros hormônios anteriores) e 'hormônios novos' (demais hormônios citados).

Os hormônios possuem funções específicas no desenvolvimento vegetal. As auxinas, por exemplo, são responsáveis por estimular diversos processos nas plantas, como divisão e alongamento celular, senescência foliar, florescimento e crescimento das flores (DAVIES, 2010). Por sua vez, as giberelinas são responsáveis por influenciar outros processos, como

indução da germinação de sementes, crescimento do caule, produção de enzimas durante o processo de germinação e crescimento de frutas. Finalmente, as citocininas são responsáveis pela expansão foliar, desenvolvimento do cloroplasto, morfogênese, divisão celular e retardamento da senescência foliar.

A auxina foi o primeiro hormônio de crescimento a ser estudado em plantas, sendo citada por Charles e Francis Darwin na obra 'O poder do movimento das plantas' (TAIZ e ZEIGER, 2013). O termo auxina foi denominado por fisiologistas, originário da palavra grega *auxein*, que significa 'aumentar' ou 'crescer', sendo identificada no ácido 3-indolacético (AIA) como a auxina vegetal primária.

O grupo de hormônios das giberelinas compreende um grande número de compostos, porém apenas alguns deles tem atividade biológica intrínseca, GA₁, GA₃, GA₄ e GA₇ (TAIZ e ZEIGER, 2013). Um dos efeitos mais marcantes das giberelinas biologicamente ativas é na promoção do alongamento celular, sendo importante para a indução do alongamento do entrenó em plantas anãs. Segundo Hooykaas et al. (1999), no começo das pesquisas com giberelinas foi decidido que novos compostos seriam nomeados de acordo com uma numeração ao invés de nomes separados, sendo conhecidos mais de 100 tipos deste hormônio.

As citocininas foram descobertas como substâncias que promovem a divisão de células vegetais em experimentos conduzidos em cultura de tecidos, onde foi identificada uma pequena molécula que, na presença da auxina, podia estimular a proliferação do tecido parenquimático medular do tabaco (TAIZ e ZEIGER, 2013). Dentre os processos fisiológicos influenciados pelas citocininas destacam-se: senescência foliar, dominância apical, formação e atividade dos meristemas apicais, promoção da atividade de dreno, desenvolvimento vascular e quebra da dormência em gemas apicais.

A ação dos hormônios vegetais depende de quatro componentes principais: i) a sua concentração associada ao tipo de tecido ou órgão vegetal; ii) o estágio fenológico de desenvolvimento da planta; iii) a sensibilidade diferencial de cada órgão ou tecido; e iv) a interação com outros hormônios (FREITAS, 2009). Segundo Freitas (2009), a concentração hormonal é uma característica associada ao tipo de tecido ou órgão do vegetal, existindo um limite de faixa de concentração adequada para que o hormônio seja efetivo no desempenho de suas funções, pois, abaixo desta faixa não há resposta fisiológica, e concentrações elevadas do hormônio apresentam efeito inibidor.

Freitas (2009) destaca também a influência do estágio de desenvolvimento da planta quanto às respostas aos diferentes níveis hormonais. Por exemplo, o estágio embrionário demanda uma quantidade diferente de hormônios em relação à fase adulta da planta. Por sua

vez, a sensibilidade diferencial dos órgãos e tecidos da planta depende da quantidade de receptores nas células, que precisam estar prontos para a ampliação do sinal hormonal proveniente da atividade dos mensageiros químicos.

De acordo com Alonso e Ecker (2001), a interação entre hormônios é dividida em três níveis diferentes. No primeiro nível, os hormônios interagem regulando um conjunto comum de genes alvo. No segundo nível há uma interação na transcrição do sinal, onde o hormônio atua na sua via de sinalização e interfere na via do outro. Finalmente, o terceiro nível refere-se à interação na biossíntese, na qual a taxa de produção de um hormônio se altera em resposta a outro hormônio.

2.3. Principais hormônios vegetais sintéticos utilizados na agricultura

Segundo Moterle et al. (2011), as espécies vegetais produzem naturalmente hormônios que atuam nos seus processos fisiológicos, sendo os mais conhecidos as auxinas, giberelinas, citocininas e etileno. Por sua vez, os reguladores vegetais ou fitorreguladores—assim denominados para que sejam distinguidos dos hormônios naturais—são substâncias químicas sintéticas que, aplicadas exogeneamente, apresentam efeito sobre o metabolismo vegetal, agindo de forma análoga aos hormônios vegetais naturais (SILVA e PIRES, 2017).

Segundo Silva e Pires (2017), os reguladores hormonais sintéticos podem ser aplicados diretamente sobre as plantas, resultando em alterações dos processos fisiológicos, podendo incrementar a produtividade, melhorar a qualidade dos alimentos e otimizar o manejo agrônomico. Quando aplicados via pulverização foliar, podem influenciar os processos de senescência, frutificação, florescimento, enraizamento e germinação. Este efeito é intensificado quando as plantas não são capazes de produzir naturalmente esses hormônios em quantidades adequadas.

Dentre as auxinas estruturalmente similares às naturais e consideradas sintéticas, estão o ácido indol-3-acético (AIA), 4-chloro-ácido indol-3-acético e o ácido indol-3-butírico (AIB) (ZAMAN et al., 2015). Majoritariamente, existem três classes de auxinas sintéticas: a) ácido acético (que inclui o ácido indolacético), ácido fenóxido acético [representado pelo ácido diclorofenoxiacético (2,4-D)], e os ácidos benzóicos (como o ácido 2,3,6-triclorobenzóico) (HOOYKAAS et al., 1999).

Existem duas classes comerciais de giberelinas que possuem atividade biológica: o GA_3 (que tem traços de outras giberelinas como da GA_1), e a mistura das giberelinas GA_4+GA_7 , de maior custo do que a GA_3 (ZAMAN et al., 2015).

As citocininas naturais são divididas em dois grupos: trans-zenatina e N6-(2-isopentenyl) adenina (HOOYKAAS et al., 1999). Já as principais citocininas sintéticas são a cinetina (KIN) e benziladenina.

A eficácia dos reguladores hormonais aplicados de forma exógena foi comprovada pelo trabalho realizado por Kaya et al. (2010), que estudaram o efeito da aplicação de hormônios vegetais na cultura do milho sob estresse hídrico. Esses autores concluíram que a aplicação de KIN na dose de 2 mmol L⁻¹ foi capaz de aumentar o rendimento de grãos de milho (8.690 kg ha⁻¹). O AIA na dose de 2 mmol L⁻¹ também apresentou resultados positivos (8.570 kg ha⁻¹), em comparação com a testemunha (7.850 kg ha⁻¹).

O efeito da aplicação de reguladores hormonais em condição de excesso hídrico foi avaliado por Ren et al. (2016). Eles estudaram o efeito da aplicação da citocinina sintética 6-benzyladenina em dois estágios fenológicos na cultura do milho após alagamento. Esses autores concluíram que os melhores resultados foram obtidos no estágio de 6 folhas verdadeiras (V6) para ambas cultivares de milho, sendo que a cultivar DH605 produziu 11.228 kg ha⁻¹ em condições de alagamento e, com a aplicação de 6-BA a produção aumentou para 12.619 kg ha⁻¹, ou seja, um aumento de 12,4%. Já a cultivar ZD958 em condições de alagamento produziu 10.667 kg ha⁻¹ e com aplicação de 6-BA o rendimento de grãos foi de 12.302 kg ha⁻¹, um aumento de 15,3%.

A cultura do arroz também foi foco de estudo de Khan et al. (2015), que avaliaram o efeito da aplicação de reguladores hormonais em duas cultivares sob déficit hídrico. Esses autores concluíram que a aplicação de GA₃ e KIN foi capaz de aumentar o teor de clorofila e a produtividade, sendo que a cultivar KS-133 apresentou rendimento de grãos de 28,3 g planta⁻¹ com o tratamento de GA₃, e 23,5 g planta⁻¹ com KIN, resultando em aumentos de 79 e 48,7%, respectivamente, em relação à testemunha (15,8 g planta⁻¹). Já para a cultivar Basmati-2000, o rendimento de grãos da testemunha foi de 13,8 g planta⁻¹, a aplicação de GA₃ resultou em 20 g planta⁻¹, e a adição de KIN proporcionou 19,1 g planta⁻¹, havendo aumentos de 45,6 e 38,8%, respectivamente.

O efeito de um promotor hormonal à base de auxina, giberelina e citocinina sobre o capim braquiária (*Brachiaria decumbens*) foi tema do trabalho realizado por Rocha et al. (2020). Esses autores concluíram que a aplicação do promotor hormonal em sementes foi capaz de incrementar a germinação, sendo que os melhores resultados foram obtidos com o uso da dose de 10,3 mL kg⁻¹. Eles também concluíram que o tratamento das sementes com 8 mL kg⁻¹ do produto foi capaz de aumentar o peso de matéria seca nas folhas.

2.4. Hormônios vegetais sintéticos utilizados como promotores do crescimento de trigo

Há evidências de que o rendimento de grãos de cereais (como o trigo) pode ser melhorado por meio da utilização de reguladores hormonais (ABDOLI et al., 2013). A ação do AIA sob condições adversas de déficit hídrico pode melhorar a tolerância de cultivares de trigo à escassez de água, como demonstrado por Muhammd et al. (2016). Porém, a aplicação exógena deste hormônio pode inibir parcialmente o perfilhamento na cultura do trigo (CAI et al., 2018).

Em trabalho realizado por Iqbal e Ashraft (2012) sobre a eficácia de auxinas sintéticas aplicadas em sementes de trigo sob estresse salino, foi concluído que a aplicação de 150 mg L^{-1} de ácido naftaleno acético (NAA) foi capaz de mitigar os efeitos causados pela salinidade, havendo aumento de matéria seca da parte aérea, número de perfilhos férteis por planta e rendimento de grãos em ambas as cultivares.

Silva e Pires (2017) não obtiveram resultados significativos com o uso de um promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) à base de KIN, GA_3 e IBA em condições ambientais favoráveis ao crescimento da cultura do trigo no Rio Grande do Sul. Por outro lado, Cai et al. (2014) obtiveram incrementos de rendimento de grãos de trigo com a aplicação individual dos hormônios vegetais AIA, zeatina e GA_3 .

2.5. Nutrientes minerais e sua interação com hormônios vegetais em plantas de trigo

Os nutrientes essenciais requeridos pelas plantas para atender as suas necessidades nutricionais são: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), molibdênio (Mo) e níquel (Ni) (MARSCHNER, 2012).

De acordo com Taiz e Zeiger (2013) e Marschner (2012), os principais aspectos relacionados ao N, P, K, Ca e Mg (macronutrientes utilizados no presente trabalho) são:

Nitrogênio: Absorvido pelas raízes e pelas folhas nas formas de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), movimenta-se através das células da membrana plasmática, epiderme e córtex da raiz através de transportadores específicos para essas formas de N. A assimilação do N é um processo de alta demanda energética, requerendo a transferência de 2 elétrons por NO_3^- convertido em nitrito (NO_2^-), e 6 elétrons por NO_2^- convertido em NH_4^+ e glutamato. Para que o N seja metabolizado em compostos orgânicos, há necessidade da ação da enzima nitrato redutase, de modo que o NO_3^- absorvido pelas raízes seja reduzido a NH_4^+ antes de ser incorporado em moléculas essenciais. O N é o nutriente essencial requerido em maior

quantidade pelas plantas. Ele faz parte da constituição de muitos compostos químicos, incluindo todas as proteínas (formadas por aminoácidos) e ácidos nucleicos. Deste modo, a deficiência de N inibe fortemente o crescimento da planta em curto espaço de tempo. Se a deficiência persistir, a maioria das plantas apresenta clorose, especialmente nas folhas mais velhas. A intensificação da deficiência de N geralmente ocasiona a abscisão foliar. Geralmente a deficiência de N provoca acúmulo de carboidratos nas folhas. Em algumas situações, os carboidratos não utilizados no metabolismo do N são destinados à síntese de antocianina, proporcionando o acúmulo deste pigmento nos vacúolos, produzindo coloração púrpura nas folhas.

Fósforo: O fosfato (HPO_4^{-2}) está disponível na solução do solo e é rapidamente absorvido pelas raízes das plantas mediante um transportador $\text{H}^+-\text{HPO}_4^{-2}$ do tipo simporte. O P é incorporado a uma diversidade de compostos orgânicos, incluindo açúcares fosfato, fosfolipídios e nucleotídeos. Diferente do NO_3^- e do sulfato (SO_4^{2-}), o HPO_4^{-2} não é reduzido para que seja assimilado, pois permanece na forma em que foi absorvido (como fosfato inorgânico) ou é esterificado através do grupo hidroxila em cadeia de carbono, como éster fosfato, ou pode permanecer ligado a outro fosfato na forma de pirofosfato rico em energia. O P é componente de importantes compostos da planta, incluindo açúcares-fosfato (glicose 6-fosfato, frutose 6-fosfato, etc.), fosfolipídios de membranas, nucleotídeos usados como fonte de energia (ATP) e ácidos nucleicos.

Potássio: É caracterizado pela alta mobilidade nas plantas em todos os níveis, de forma intracelular, nos tecidos e também no transporte à longa distância do xilema e floema. A absorção do K é realizada na forma iônica (K^+) e, quando no interior das plantas, é facilmente translocável, acumulando-se especialmente em tecidos jovens. O K está presente na planta sempre como cátion monovalente dissolvido no suco celular ou se movimentando no xilema e floema. Ele desempenha importante papel na regulação do potencial osmótico das células, além de ser requerido para a ativação de muitas enzimas nos processos respiratórios e fotossintéticos, na síntese de proteínas, no movimento estomático, na resistência ao estresse hídrico e na transferência de energia.

Cálcio: É absorvido e transportado na forma iônica (Ca^{2+}). Sua mobilidade é maior no apoplasto do que no simplasto. Apesar do Ca^{2+} ser absorvido em grandes quantidades, o seu conteúdo nos tecidos vegetais oscila entre 0,1 e 7,0%. A maior parte do Ca celular acumula-se nas mitocôndrias e nos vacúolos, podendo estar na forma solúvel ou precipitado na forma de oxalato ou fosfato. O Ca é utilizado na síntese de parede celular, particularmente na formação da lamela média que separa novas células após a divisão. O Ca também é requerido para o

funcionamento normal da membrana plasmática e tem sido reconhecido como mensageiro secundário (Ca^{2+} citosólico ou Ca^{2+} ligado à proteína calmodulina) envolvido em respostas da planta a alterações ambientais e a sinais hormonais. Ele é um elemento básico no equilíbrio ácido-básico dos vegetais. A alteração desse equilíbrio prejudica o crescimento, além de alterar a forma dos tecidos vegetais, diminuindo a formação das raízes, o florescimento e a frutificação.

Magnésio: É um elemento muito móvel na planta, assim como no interior da célula. A maior parte desse nutriente encontra-se na forma iônica (Mg^{2+}) no vacúolo, contrapondo-se aos ácidos orgânicos e inorgânicos. Ele encontra-se em quantidades menores na lamela média, na forma de pestatos. Além disso, o Mg tem importante função no metabolismo do fósforo e papéis específicos nas células das plantas, onde o íon Mg^{2+} participa da ativação de enzimas no processo respiratório, na fotossíntese e na síntese de ácidos nucléicos. Além disso, o Mg faz parte da estrutura da molécula de clorofila.

Considerando a cultura do trigo, a maior taxa de absorção e acúmulo de N na planta acontece entre as fases fenológicas de alongamento do colmo e de espigamento, atingindo teor máximo na antese, que acontece próximo aos 100 dias após a emergência das plântulas (DE BONA et al., 2016). A partir desse estágio, a absorção de N continua ocorrendo, porém coincide com um aumento considerável de perda deste nutriente para outros órgãos 'drenos' (principalmente para formação de grãos) por meio de processos fisiológicos, ocorrendo a senescência e queda de folhas, além da exsudação de compostos nitrogenados pelas raízes.

O rendimento de grãos da cultura do trigo é altamente correlacionado com os acúmulos de matéria seca e de nutrientes na biomassa vegetal, que em sua maioria são absorvidos na pré-antese, como o N, P e K (HOCKING, 1994).

O N absorvido pelas plantas de trigo nos estágios iniciais de desenvolvimento vegetal contribui para o perfilhamento e crescimento foliar, sendo que após a antese o N é mobilizado para a formação de grãos (SPIERTZ e DE VOS, 1983).

A adequada disponibilidade de P no solo auxilia a planta de trigo em seu estágio inicial de crescimento e desenvolvimento, razão pela qual sempre é recomendado o uso de uma dose de P solúvel na adubação de base do trigo, preferencialmente no sulco de semeadura, mesmo que o teor inicial de P no solo seja considerado satisfatório pela análise química do solo (DE BONA et al., 2016).

O K contribui significativamente para o enchimento de grãos e para a qualidade final do trigo, além de aumentar a resistência das plantas ao déficit hídrico (BARKER e PILBEAM, 2015).

Dentre os macronutrientes essenciais, as demandas nutricionais da cultura do trigo por Ca e Mg são menores quantitativamente, quando comparados ao N e K (DE BONA et al., 2016). A formação e o crescimento do sistema radicular da planta dependem da presença de teores satisfatórios de Ca em todo o perfil do solo, pois esse nutriente é fundamental na síntese de novas células na região apical (meristemática), pois ele atua na composição da estrutura da parede celular (MARSCHNER, 2012). Embora pouco comum, a deficiência de Ca em plantas de trigo é caracterizada pelo amarelecimento dos ápices das folhas mais novas, que evolui para enrolamento e necrose da ponta e deformações das margens do restante da folha. Como o Mg está envolvido na constituição da clorofila, a sua deficiência em trigo é caracterizada pela coloração verde-amarelada (clorose) nas folhas mais velhas e/ou manchas com coloração amarelo-amarronzadas espalhadas no limbo foliar (DE BONA et al., 2016).

Na área de nutrição mineral de plantas, entende-se como eficiência nutricional a capacidade de absorção (remover um nutriente do solo) e de utilização (usar o nutriente para produzir biomassa ou grãos) de nutrientes pelas plantas, sendo a eficiência de absorção mais importante para plantas jovens e a eficiência de utilização importante durante todo o ciclo de crescimento da planta (BARROS e NOVAIS, 1990; MARSCHNER, 2012). Neste contexto, a eficiência de utilização (EU) de um nutriente pelas plantas tem sido calculada como o quociente da massa seca produzida pela planta pelo conteúdo de nutriente acumulado nesta biomassa (SWIADER et al., 1994).

Khan et al. (2002), realizando a aplicação conjunta de N e GA₃ na cultura da mostarda, foram capazes de identificar que a aplicação de GA₃ na dose de 10⁻⁵ mol L⁻¹ foi capaz de aumentar a EU de N (EUN) em tratamentos que receberam 80 kg ha⁻¹ de N (dose considerada ótima) e 40 kg ha⁻¹ de N (dose sub-ótima), sendo obtidos aumentos de EUN de 38 e 19%, respectivamente, em relação à testemunha.

Nutrientes minerais como o N têm seu transporte e assimilação mediados pelo hormônio vegetal citocinina, que pode aumentar a concentração de N no tecido vegetal (SAKAKIBARA et al., 2006). Por sua vez, há evidências de ocorrência de interação entre auxinas e rotas metabólicas-fisiológicas de nutrientes como o N, P, K e S (FRANCO-ZORRILLA et al., 2004; TICCONI e ABEL 2004; ASHLEY et al., 2006; KOPRIVA, 2006; ZHANG et al., 2007).

Takei et al. (2001), estudando a relação entre nutrientes e hormônios, verificaram que a aplicação de NO₃⁻ nas raízes aumenta a síntese de citocinina em folhas de milho. Por sua vez, Caba et al. (2000) constataram na cultura da soja que o fornecimento de NO₃⁻ altera a faixa de concentração das auxinas. Walch-Liu et al. (2006) relatam que plantas de soja e de *Arabidopsis*

cultivadas com baixa disponibilidade de N acumulam mais auxina nas raízes em comparação àquelas cultivadas com adequado N.

Com relação à interação entre P e auxina, a baixa disponibilidade de P nas raízes aumenta a síntese das auxinas, resultando na proliferação de raízes laterais e paralisando o crescimento das raízes principais em plantas de *Arabidopsis* (LOPEZ-BUCIO et al. 2002).

Em estudo realizado na cultura do trigo com a aplicação de ácido indol-3-bútírico (IAA), em diferentes doses e estágios fenológicos, Báez-Pérez et. al. (2015) concluíram que a aplicação de IAA não influenciou o acúmulo de N, P e K nas plantas.

A aplicação de KIN nas sementes e IAA nas folhas de milho foi estudada por Otie et al. (2016), que constaram que a aplicação combinada destes dois hormônios foi capaz de aumentar a EUN em plântulas de trigo, principalmente no tratamento que recebeu menor dose de N (90 kg ha^{-1}).

Observa-se, portanto, que existem diferentes respostas da cultura do trigo aos promotores hormonais, assim como inúmeras dúvidas com relação à eficiência e interação desses hormônios sintéticos com a absorção e eficiência de utilização de nutrientes pela cultura do trigo; ou ainda, não se sabe se esses promotores hormonais podem aumentar a demanda da planta por nutrientes para ela atingir maiores produtividades.

REFERÊNCIAS

- ABDOLI, M.; SAEIDI, M.; JALALI-HORNARMAND, S.; AZHAND, M. The effect of foliar application of indol-3-acetic acid (IAA) and roles of ear photosynthesis on grain yield production of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) under post anthesis water deficit. **International Research Journal of Applied and Basic Sciences**, Raipur, v. 4, n. 6, p. 1406–1413, 2013.
- ASHLEY, M. K.; GRANT, M.; GRABOV, A. Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins. **Journal Experiment Botany**, Oxford, v. 57, n. 2, p. 425–436, 2006.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. 1. ed. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. 330 p.
- CAI, T.; XU, H.; PENG, D.; YIN, Y.; YANG, W.; NI, Y.; CHEN, X.; XU, C.; YANG, D.; CUI, Z.; WANG, Z. Exogenous hormonal application improves grain yield of wheat by optimizing tiller productivity. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 155, p. 172–183, 2014.
- CAI, T.; MENG, X.; LIU, X.; LIU, T.; WANG, H.; JIA, Z.; YANG, D.; REN, X. Exogenous hormonal application regulates the occurrence of wheat tillers by changing endogenous hormones. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 9, p. 1–17, 2018.
- CATO, S. C.; MACEDO, W. R.; PERES, L. E. P.; CASTRO, P. R. C. Synergism among auxins, gibberellins and cytokinins in tomato cv. Micro-Tom. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 31, p. 549–553, 2013.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO — CONAB. **A cultura do trigo**. OLIVEIRA NETO, A. A.; SANTOS, C. M. R. (Org.). Brasília: Conab, 2017. 218 p.
- COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO — CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, CONAB, 2020. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em 12/05/2020.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica das safras – Trigo safra 2020**. Brasília: Conab, 2021.
- DAVIES, P. J. The plant hormones: Their nature, occurrence, and functions. In: **Plant hormones**. Netherlands: Springer Netherlands, 2010. p. 1–15.
- FRANCO-ZORRILLA, J. M.; GONZÁLEZ, E.; BUSTOS, R.; LINHARES, F.; LEYVA, A.; PAZ-ARES, J. The transcriptional control of plant responses to phosphate limitation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 396, p. 285–293, 2004.
- FREITAS, H. B. **Desenvolvimento e hormônios vegetais**. 1. ed. Salvador: EDUFBA, 2009. 72 p.

HOOYKAAS, P. J. J.; HALL, M. A.; LIBBENGA, K. R. (eds.). **Biochemistry and molecular biology of plant hormones**. Paris: Elsevier Science, 1999. 538 p.

IQBAL, M; ASHRAF, M. Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 86, p. 76–85, 2013.

KAYA, C.; TUNA, A. L.; OKANT, A. M. Effect of foliar applied kinetin and indole acetic on maize plant grown under saline conditions. **Turkey Journal of Agriculture and Forestry**, Erzurum, v. 34, p. 529–538, 2010.

KHAN, S. U.; GURMANI, A. R.; DIN, J. U.; QAYYUM, A.; ABBASI, K. S.; LIAQUAT, M.; AHMAD, Z. Exogenously applied gibberellic acid, indole acetic acid and kinetin as potential regulators of source-sink relationship, physiological and yield attributes in rice (*Oryza sativa*) genotypes under water deficit conditions. **International Journal of Agriculture & Biology**, Mandsaur, v.18, p. 139–145, 2015.

KOPRIVA, S. Regulation of sulfate assimilation in *Arabidopsis* and beyond. **Annals of Botany**, Londres, v. 97, n. 4, p. 479–495, 2006.

LÓPEZ-BUCIO, J.; HERNÁNDEZ-ABREU, E.; SÁNCHEZ-CALDERÓN, L.; NIETO-JACOBO, M.F.; SIMPSON, J.; HERRERA-ESTRELLA, L. Phosphate availability alters architecture and causes changes in hormone sensitivity in the *Arabidopsis* root system. **Plant Physiology**, v. 129, p. 244–256, 2002.

MACIEL, J. S.; MARTIN, T. N.; LUDWIG, R. L.; ROCKEMBACK, D. Importância da escolha da cultivar de trigo para plantios na região Sul. **Grandes Culturas Cultivar**, Ano XV, n. 181, 2014.

MANFRON, P. A.; LAZZAROTTO, C.; MEDEIROS, S. L. P. Trigo - Aspectos Agrometeorológicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 233–239, 1993.

MARSCHNER P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Amsterdam: Elsevier/Academic Press, 2012.

McMULLAN, P. M.; McVETTY, P. B. E.; URQUHART, A. A. Dry matter and nitrogen accumulation and redistribution and their relationship to grain yield and grain protein in wheat. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, p. 311–322, 1988.

MORI, C.; IGNACZAK, J. C. Aspectos econômicos do complexo agroindustrial do **trigo**. In: Pires, J. L. F.; Vargas, L.; Cunha, G. R. (Eds.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 41-76.

MORZELLE, M. C.; PETERS, L. P.; ANGELINI, B. G.; CASTRO, P. R. C.; Mendes, A. C. C. M. **Agroquímicos estimulantes, extratos vegetais e metabólitos microbianos na agricultura**. Piracicaba: ESALQ, Divisão de Biblioteca, 2017. 94 p.

MOTERLE, L. M.; SANTOS, R. F.; SCAPIM, C. A.; BRACCINI, A. L.; BONATO, C. M.; CONRADO, T. Efeito de biorregulador na germinação e vigor de sementes de soja. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 5, p. 651–660, 2011.

MUHAMMAD, N.; HAKIM; QURAIISHI, U. M.; CHAUDHARY, H. J.; MUNIS, M. F. H.; Indol-3-Acetic Acid induces biochemical and physiological changes in wheat under drought stress conditions. **The Philippine Agricultura Scientist**, Laguna, v. 99, p. 19–24, 2016.

NAGAR, S.; SINGH, R. V. P.; SINGH, G. P.; DHAKAR, R.; UMESH, D. K.; AROA, A. Cytokinin enhanced biomass and yield in wheat improving N-metabolism under water limited. **Indian Journal of Plant Physiology**, New York v. 20, p. 31–38, 2014.

OLIVEIRA NETO, A. A.; SANTOS, C. M. R. (Org.). **A cultura do trigo**. Brasília: Conab, 2017. 218 p.

OTIE, V.; PING, A.; JOHN, N. M.; ENEJI, E. Interactive effects of plant growth regulators and nitrogen on corn growth and nitrogen use efficiency. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 39, n. 11, p. 1597–1609, 2016.

REN, B.; ZHU, Y.; ZHANG, J.; DONG, S.; PENG, L.; ZHAO, B. Effects of spraying exogenous hormone 6-benzyladenine (6-BA) after waterlogging on grain yield and growth of summer maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 188, p. 96–104, 2016.

ROCHA, L. C.; TEIXEIRA, F. A.; PEDREIRA, M. S.; FRIES, D. D.; DIAS, D. L. S.; COSTA, E. G. L.; FIGUEIREDO, A. J. F.; SEIXAS, A. A.; PACHECO, C. C.; SANTIAGO, B. M. Plant growth regulator and soil fertilizer improved production and growing stage of *Brachiaria decumbens*. **Grassland Science**, Hoboken, v. 66, n. 2, p. 102–109, 2020.

SAKAKIBARA, H.; TAKEI, H.; HIROSE, N. Interactions between nitrogen and cytokinin in the regulation of metabolism and development. **Trend in Plant Science**, Amsterdam, v. 11, p. 440–448, 2006.

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: Editora UFV, 2015. p. 35-55.

SENGER, M. **Influência do nitrogênio, regulador de crescimento e densidade de semeadura na produtividade e na qualidade industrial do trigo**. 2017. 154 f. Tese (Doutorado em Agronomia)–Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.

SILVA, S. R.; PIRES, J. L. F. Resposta do trigo BRS Guamirim à aplicação de *Azospirillum*, nitrogênio e substâncias promotoras de crescimento. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 4, p. 631–638, 2017.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 7, p. 1687–1699, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TAKEI, K.; SAKAKIBARA, H.; TANIGUCHI, M.; SUGIYAMA, T. Nitrogen-dependent accumulation of cytokinins in root and the translocation to leaf: Implication of cytokinin species that induces gene expression of maize response regulator. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 85–93. 2001.

TICCONI, C. A.; ABEL, S. Short on phosphate: plant surveillance and countermeasures. **Trends in Plant Science**, London, v. 9, n. 11, p. 548–555, 2004.

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SILVA, J. S. 1. ed. **Manual de fisiologia vegetal**. São Luís: EDUFMA, 2010. 230 p.

WALCH-LIU, P., IVANOV, I. I.; FILLEUR, S.; GAN, Y.; REMANS, T.; FORDE, B. G. Nitrogen Regulation of Root Branching. **Annals of Botany**, Londres, v. 97, n. 5, p. 875–881, 2006.

YANG, D.; LI, Y.; CUI, Z.; LUO, Y.; ZHEN, M.; CHEN, J.; LI, Y.; YIN, Y.; WANG, Z. Exogenous cytokinins increase grain yield of winter wheat cultivars by improving stay-green characteristics under heat stress. **Plos One**, San Francisco, v. 11, n. 5, p. e0155437, 2016.

ZAMAN, M.; CATTO, W.; PHARIS, R. P. Enhancing crop yield with the use of N-based fertilizers co-applied with plant hormones or growth regulators. **Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 95, n. 9, p. 1777–1785, 2015.

ZHAN, A.; ZOU, C.; YE, Y.; LIU, Z.; CUI, Z.; CHEN, X. Estimating on-farm wheat yield response to potassium and potassium uptake requirement in China. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 191, p. 13–19, 2016.

ZHANG, H.; RONG, H.; PILBEAM, D. Signalling mechanisms underlying the morphological responses of the root system to nitrogen in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 9, p. 2329–2338, 2007.

ZHENG, C.; ZHU, Y.; WANG, C.; GUO, T. Wheat grain yield in response to pre-anthesis foliar application of 6-Benzylaminopurine is dependent on floret development. **Plos One**, San Francisco, v. 11, n. 6, p. e0156627, 2016.

Nota: O capítulo seguinte foi publicado na íntegra em 22/11/2020 na revista Research, Society and Development, volume 9, número 11, e4769119975, 2020. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9975>. Informações complementares solicitadas pela Comissão Examinadora em 19/02/2021 foram incluídas no Anexo A.

3. CAPÍTULO A – PLÂNTULAS DE TRIGO AFETADAS POR UM PROMOTOR HORMONAL DE CRESCIMENTO VEGETAL

RESUMO

Promotores hormonais de crescimento de plantas (PHCP) têm sido utilizados na agricultura, especialmente cinetina (KIN, citocinina), ácido giberélico (GA₃, giberelina), e ácido indolbutírico (IBA, auxina). O objetivo deste trabalho foi avaliar doses e métodos de aplicação de um produto contendo PHCP (0,09 g L⁻¹ de KIN; 0,05 g L⁻¹ de GA₃; 0,05 g L⁻¹ de IBA) e os seus efeitos no crescimento de plântulas de trigo. Dois experimentos independentes foram conduzidos em casa de vegetação. O primeiro foi desenvolvido em papel Germitest[®] e o segundo em solo. Em ambos os casos, foram utilizados delineamentos inteiramente casualizados. O primeiro ensaio, com 10 repetições, foi conduzido em arranjo fatorial 2 × 2 × 4, sendo dois genótipos de trigo, duas doses de PHCP aplicadas nas sementes, e quatro períodos de crescimento das plântulas, totalizando 160 unidades experimentais. O segundo ensaio continha quatro repetições, com tratamentos dispostos no arranjo fatorial 2 × 2 × 2, sendo dois genótipos de trigo, duas doses de PHCP aplicadas nas sementes, e duas doses de PHCP aplicadas nas folhas, totalizando 32 unidades experimentais. Foram avaliados os crescimentos radicular (número de raízes/plântula e comprimento total/plântula) e foliar (comprimento, largura e área). A aplicação do PHCP nas sementes atrasou o crescimento inicial das raízes e a expansão da área foliar. Porém, este efeito inibitório foi revertido com o avanço da idade das plântulas. A aplicação combinada de PHCP nas sementes e nas folhas ocasionou um efeito antagônico, com sistemática redução do crescimento de raízes das plântulas trigo.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*; Hormônio vegetal sintético; Crescimento radicular.

ABSTRACT: Wheat seedlings affected by a hormonal plant growth promoter

Synthetic hormonal plant growth promoter (HPGP) has been used in agriculture, especially kinetin (KIN, cytokinin), gibberellic acid (GA₃, gibberellin), and indolbutyric acid (IBA, auxin). The objective of this work was to evaluate rates and methods of application of a HPGP product (0.09 g L⁻¹ of KIN; 0.05 g L⁻¹ of GA₃; 0.05 g L⁻¹ of IBA) and its effects on wheat seedling growth. Two independent experiments were carried out in a greenhouse. The first was performed on Germitest[®] paper and the second in soil. In both cases, it was used a completely randomized design. The first trial, with 10 replicates, was carried out in a 2 × 2 × 4 factorial arrangement, being two wheat genotypes, two HPGP rates applied on the seeds, and four periods of seedling growth, totaling 160 experimental units. The second trial had four replicates, with treatments disposed in a 2 × 2 × 2 factorial arrangement, being two wheat genotypes, two HPGP rates applied on the seeds, and two HPGP rates applied on the leaves, totaling 32 experimental units. It was evaluated the growth of roots (number of roots/seedling and total root length/seedling) and the growth of leaves (length, width, and area). The application of HPGP on the seeds delayed the initial root growth and the leaf area expansion. However, this inhibitory effect was reversed along with the advance of seedling age. The combined application of HPGP on the seeds and on the leaves caused an antagonistic effect, with systematic growth reduction of wheat seedling roots.

Keywords: *Triticum aestivum*; Synthetic vegetal hormone; Root growth.

3.1. INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos principais alimentos utilizados na nutrição humana e animal, cuja produção mundial na safra de 2019/20 foi de 764,4 milhões de toneladas (USDA, 2020). O Brasil tem mantido uma área de mais de 2 milhões de hectares cultivada com trigo, cujo rendimento de grãos da cultura tem aumentado gradativamente nas últimas décadas, sendo que, de 1998 a 2018 ele aumentou 66,7%, ou seja, de 1.593 para 2.657 kg ha⁻¹ (CONAB, 2020a). No entanto, esta produtividade do trigo brasileiro ainda é considerada baixa quando comparada com importantes exportadores do cereal, como Estados Unidos da América e Argentina. Além disso, o Brasil não é autossuficiente na produção de trigo, atendendo menos de 50% de seu consumo interno (CONAB, 2020b). Portanto, esforços têm sido realizados no

sentido de elevar o rendimento de grãos da cultura, como a intensificação do melhoramento genético e o uso de práticas agrônômicas mais eficientes.

Neste contexto, é indispensável a utilização de sementes com alta capacidade germinativa e potencial fisiológico, visando aumentar as chances de sucesso do estabelecimento inicial e produtividade das lavouras (CATÃO et al., 2013). No entanto, mesmo obtendo sementes com alta qualidade no campo, os processos de colheita mecânica, secagem e armazenamento geralmente ocasionam danos e estresses que reduzem seu poder germinativo e vigor (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012). Deste modo, algumas substâncias têm sido avaliadas na tentativa de recuperar ou melhorar a qualidade fisiológica das sementes, além de promover melhor desenvolvimento das plântulas.

Recentemente alguns hormônios vegetais sintéticos têm sido registrados para uso na agricultura como bioreguladores ou reguladores vegetais, que são substâncias químicas aplicadas exogeneamente em sementes ou folhas para proporcionar efeitos sobre o metabolismo da planta, de maneira similar aos hormônios vegetais naturais (SILVA e PIRES, 2017).

Os hormônios vegetais são mensageiros químicos produzidos pelas células, que modulam os processos fisiológicos e metabólicos, mesmo sob baixas concentrações (TAIZ e ZEIGER, 2013). Durante o processo de germinação de sementes, as auxinas favorecem a permeabilidade da membrana e o crescimento da raiz primária e do hipocótilo. Em sementes de trigo e outras gramíneas, a giberelina produzida pelo embrião acelera a digestão de reservas nutritivas contidas no endosperma, pois estimula a produção de enzimas hidrolíticas. Por sua vez, as citocininas estimulam a divisão e o alongamento celular, apresentando efeito sinérgico com a luz (MARCOS-FILHO, 2015). O efeito da aplicação destes fitohormônios nas sementes tem sido foco de estudo de alguns pesquisadores. Por exemplo, Yu et al. (2016) realizaram a aplicação de $150 \mu\text{mol L}^{-1}$ de ácido giberélico (GA_3 ; do grupo da giberelina) em sementes de trigo e verificaram aumentos de 5% na taxa germinativa, 12% no comprimento radicular e 11% no comprimento da parte aérea quando comparado com a testemunha.

Atualmente, está disponível no mercado agrícola brasileiro um promotor hormonal do crescimento de plantas (PHCP) à base de cinetina (KIN; do grupo da citocinina), GA_3 e ácido indol-3-butírico (IBA; do grupo das auxinas). Alguns trabalhos avaliaram o efeito deste PHCP sobre a produtividade do trigo (SILVA e PIRES, 2017; OLIVEIRA et al., 2020). Porém, não foram encontrados resultados publicados sobre a ação deste PHCP sobre a germinação de sementes e desenvolvimento inicial das plântulas de trigo. Este tipo de informação científica é de interesse dos agricultores (que têm utilizado este PHCP sem uma abrangente validação), uma vez que o estabelecimento inicial do estande de plantas é condição determinante da

produtividade do trigo. Portanto, estudos adicionais são necessários para subsidiar esta atividade econômica.

Com base em observações realizadas pelo primeiro autor deste trabalho em lavouras comerciais de trigo, nós hipotetizamos que este PHCP pode causar efeitos adversos sobre o estabelecimento inicial do estande de plantas, retardando seu desenvolvimento. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de um PHCP – contendo três importantes hormônios vegetais (KIN, GA₃ e AIB) – sobre a germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de cultivares de trigo.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram elaborados e desenvolvidos segundo critérios e fundamentos de metodologia da pesquisa científica, considerando adequados delineamentos estatísticos para testarem a hipótese do trabalho de acordo com os objetivos propostos (KÖCHE, 2011; PEREIRA et al., 2018). Os métodos de pesquisa utilizados para avaliar a germinação de sementes e o desenvolvimento de plântulas de trigo – em condições de casa de vegetação – foram elaborados pelos autores com base nos trabalhos de Oliveira et al. (1991) e MAPA (2009), realizando as adaptações necessárias.

3.2.1. Condições ambientais e delineamentos experimentais

Dois experimentos independentes foram realizados em condições controladas de casa de vegetação: i) Crescimento de plântulas de trigo em papel Germitest[®] *versus* doses de PHCP (0,09 g L⁻¹ de KIN; 0,05 g L⁻¹ de GA₃; 0,05 g L⁻¹ de IBA) aplicadas nas sementes; ii) Crescimento de plântulas de trigo no solo *versus* doses e métodos de aplicação de PHCP em sementes e em folhas. O primeiro experimento foi conduzido até oito dias após a semeadura (DAS) e o segundo até 14 DAS. As principais condições meteorológicas dentro da casa de vegetação, durante os dois períodos experimentais, foram (média ± desvio padrão): temperatura média diária de 27,5 ± 4,0 °C e 27,0 ± 3,8 °C; umidade relativa média do ar de 73,4 ± 17,0% e 72,5 ± 16,3%; e radiação solar global média diária de 20,5 ± 3,8 MJ m⁻² e 19,2 ± 4,5 MJ m⁻², para os experimentos 'i' e 'ii', respectivamente.

O primeiro experimento, com 10 repetições, foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, no arranjo fatorial 2 × 2 × 4, sendo dois genótipos de trigo (BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço), duas doses de PHCP (0 e 5 mL kg⁻¹) aplicadas diretamente nas

sementes, e quatro períodos de crescimento das plântulas (2, 4, 6 e 8 DAS), totalizando 160 unidades experimentais (UE). Cada UE foi constituída por um papel Germitest® (28 × 38 cm) em forma de rolo.

O segundo experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, com tratamentos dispostos no arranjo fatorial $2 \times 2 \times 2$, sendo dois genótipos de trigo (cultivares BRS Galha-Azul e BRS Sanhaço), duas doses de PHCP (0 e 5 mL kg⁻¹) aplicadas nas sementes, e duas doses de PHCP (0 e 0,5 L ha⁻¹) aplicadas nas folhas, totalizando 32 UE. Cada UE consistiu de um recipiente cilíndrico de polivinil (10 cm de altura e 5,75 cm de diâmetro interno), contendo 220 cm³ de solo. Foi utilizado um solo tropical altamente intemperizado, classificado pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como Latossolo Vermelho Amarelo (Santos et al., 2013) ou 'red-yellow Ferralsol' de acordo com o sistema internacional (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015). Amostras de solo foram coletadas nos 20 cm superiores do perfil do solo, passadas por uma peneira com malha de 2 mm, secas ao ar, homogeneizadas, e armazenadas até o uso. Subamostras de solo foram coletadas para caracterização em laboratório. Algumas propriedades químicas do solo: pH (CaCl₂) = 5,56; fósforo e potássio disponíveis (extrator Mehlich-1) = 24,2 e 60 mg dm⁻³, respectivamente; cálcio, magnésio e alumínio trocáveis (extrator KCl 1 mol L⁻¹) = 12,9, 5,0 e 0,0 cmol_c dm⁻³, respectivamente; acidez potencial (extrator 0,5 mol L⁻¹ de acetato de cálcio, pH 7,0) = 8,6 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca catiônica = 26,7 cmol_c dm⁻³; saturação por bases = 67,7%.

Os métodos de aplicação (nas sementes e/ou nas folhas) e as doses de PHCP foram baseados nas recomendações técnicas do fabricante do produto para a cultura do trigo (ou seja, 4–6 mL kg⁻¹ nas sementes; e 0,25–0,5 L ha⁻¹ nas folhas).

Com relação à fenologia, BRS Galha-Azul e BRS Sanhaço são classificadas como cultivares de ciclo médio, apresentando desde a emergência das plântulas até a maturação dos grãos médias de 124 e 112 dias, respectivamente (BASSOI et al., 2019). Elas são consideradas as principais cultivares comerciais de trigo da Embrapa semeadas no Paraná nas safras de 2019 e 2020.

3.2.2. Instalação dos experimentos

Primeiro experimento – A aplicação das duas doses (0 e 5 mL kg⁻¹) do PHCP nas sementes foi realizada no interior de sacos plásticos, nos quais o produto foi adicionado juntamente com as sementes (com proporção de mistura de 5 mL de PHCP por quilograma de sementes), seguido de agitação até que as sementes estivessem completamente recobertas com

a solução. No tratamento controle foi utilizada água destilada. Após três horas de embebição, duas sementes foram semeadas a 1 cm de distância da borda superior de um papel Germitest[®], espaçadas entre si de 3 cm, sendo a folha de papel posteriormente enrolada em formato cilíndrico. Em seguida, os rolos foram dispostos verticalmente, com a borda superior (contendo as sementes) fixada em um suporte (localizado a 40 cm de altura da bancada) e a borda inferior foi imersa em um recipiente com água. Este dispositivo permitiu a subida vertical da água até as sementes, através da capilaridade do papel. Três dias após a semeadura foi realizado o desbaste, deixando apenas uma plântula em cada rolo. O ensaio foi conduzido até o oitavo DAS, mantendo a umidade do papel próxima à sua capacidade de retenção de água, repondo a água dos recipientes e borrifando-a direcionada à superfície do papel a cada duas horas durante o período diurno.

Segundo experimento – A aplicação das duas doses (0 e 5 mL kg⁻¹) do PHCP nas sementes foi realizada da mesma forma que no primeiro experimento. Após três horas de embebição, duas sementes foram semeadas no solo de cada vaso. Dois dias após a emergência foi realizado o desbaste, restando apenas uma plântula em cada vaso. Sete DAS as duas doses (0 e 0,5 L ha⁻¹) de PHCP foram aplicadas nas folhas, pulverizando-as no estágio de duas folhas desdobradas [estádio de crescimento GS12 da escala de Zadoks (ZADOKS et al., 1974)]. O produto foi aplicado com pulverizador manual equipado com bico do tipo cone oco. O ensaio foi conduzido até 14 DAS, mantendo a umidade do solo próximo à sua capacidade de retenção de água, por meio de irrigação diária com água destilada. Foi escolhido o período de 14 DAS para a colheita do ensaio, pois ele correspondeu ao estágio de crescimento GS13 da escala de Zadoks, que foi considerada pelos autores como o fim da fase de plântula.

3.2.3. Avaliações nas plântulas

Primeiro experimento – Ao final de cada período de crescimento (2, 4, 6 e 8 DAS), a parte aérea da plântula foi cortada para medição do comprimento da folha (CF, cm), largura da folha (LF, cm; média de cinco medições ao longo da folha, com uso de paquímetro), e área foliar (AF, cm²; estimada como CF × LF). Os rolos de papel foram desenrolados e a profundidade máxima atingida pelo sistema radicular (PR) foi medida. Em seguida, o sistema radicular foi cuidadosamente retirado do papel Germitest[®] e o número de raízes (NR, raízes plântula⁻¹) e o comprimento total de raízes (CR, cm plântula⁻¹) foram avaliados por contagem direta e medição com régua milimetrada, respectivamente.

Segundo experimento – Após 14 DAS, a parte aérea da planta foi cortada para as seguintes avaliações: CF, LF e AF, da mesma forma que no primeiro experimento. Em seguida, o solo foi retirado de cada vaso e lavado sobre uma peneira com malha de 0,25 mm para separar as raízes, que foram medidas para: NR (por contagem direta) e CR pelo método de interseção de linhas (TENNANT, 1975).

3.2.4. Análises estatísticas

Os dados experimentais, para cada ensaio, foram analisados por meio do pacote estatístico GENES[®] (CRUZ, 2013). Para uma análise dos pressupostos dos modelos, foram realizados o teste de Lilliefors para normalidade e o teste de Bartlett para homogeneidade de variância. Coeficientes de assimetria e curtose também foram avaliados. De acordo com esses testes, nenhuma transformação de dados foi necessária. Uma vez que todas as pressuposições necessárias para a análise de variância (ANOVA) foram atendidas, o teste F foi realizado

No primeiro experimento, quando a ANOVA resultou em um valor de P significativo ($P \leq 0,05$), os parâmetros quantitativos (períodos de crescimento das plântulas) foram ajustados para os modelos de regressão linear, quadrático e quadrático base raiz quadrada, utilizando o pacote estatístico SAEG[®] (EUCLYDES, 1983). Os coeficientes dos modelos ajustados foram avaliados pelo teste F (em níveis de significância de $P < 0,001$, $P < 0,01$ e $P < 0,05$) considerando o quadrático médio do resíduo da ANOVA do experimento. Em seguida, dentre dois ou mais modelos com coeficientes significativos, foi escolhido aquele com o maior coeficiente de determinação (R^2). Além disso, considerando o desdobramento das interações significativas entre os fatores estudados, foi utilizado o intervalo de confiança com 95% de significância para comparar cada combinação genótipo–PHCP dentro de cada período de crescimento das plântulas. Foi calculada a correlação de Pearson entre as principais variáveis.

No segundo experimento, quando a ANOVA resultou em um valor de P significativo, o teste t ($P \geq 0,05$) foi utilizado para comparações entre duas médias dos tratamentos, considerando o desdobramento das interações significativas entre os fatores experimentais.

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Primeiro experimento – Crescimento de plântulas de trigo em papel Germitest[®] afetado por doses de PHCP em sementes

Sementes tratadas com PHCP geraram plântulas com menores taxas de crescimento de raízes e de folhas, que foram influenciadas por interações entre os fatores estudados, isto é, período de crescimento pós-semeadura, cultivar de trigo e dose de PHCP (Tabela 1).

Tabela 1. Significância (*P-value*) da análise de variância (ANOVA) dos efeitos principais [período (P), genótipo (G), e dose de promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) na semente (S)] e de suas interações; e médias de número de raízes (NR), comprimento (CR) e profundidade (PR) radiculares, e área foliar (AF) de plântulas de dois genótipos de trigo (BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados em papel de germinação (Germitest®) durante quatro períodos (2, 4, 6 e 8 dias após semeadura), em função de duas doses de PHCP (0 e 5 mL kg⁻¹) aplicadas nas sementes.

Fonte de variação	GL	NR	CR	PR	AF
Período (P)	3	***	***	***	***
Genótipo (G)	1	***	***	**	ns
PHCP-sem (S)	1	***	***	***	***
P x G	3	***	ns	*	ns
P x S	3	***	ns	ns	*
G x S	1	**	*	***	***
P x G x S	3	***	***	***	***
Resíduo	144				
CV (%)		15,1	19,6	14,9	23,6

Fator	Tratamento	NR (raízes planta ⁻¹)	CR (cm planta ⁻¹)	PR (cm)	AF (cm ² planta ⁻¹)
Período (P)	2 dias	2,03	1,34	0,73	0,14
	4 dias	2,95	15,40	6,05	1,09
	6 dias	3,20	33,79	12,41	3,17
	8 dias	3,30	51,14	18,70	5,69
Genótipo (G)	BRS Gralha-Azul	2,74	24,08	9,12	2,53
	BRS Sanhaço	3,00	26,76	9,82	2,52
PHCP-sem (S)	0 mL kg ⁻¹	3,05	27,23	10,21	2,81
	5 mL kg ⁻¹	2,69	23,61	8,73	2,24

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. Fonte: Autores.

A aplicação de PHCP nas sementes atrasou a emissão de raízes em ambas cultivares de trigo (Figura 1a).

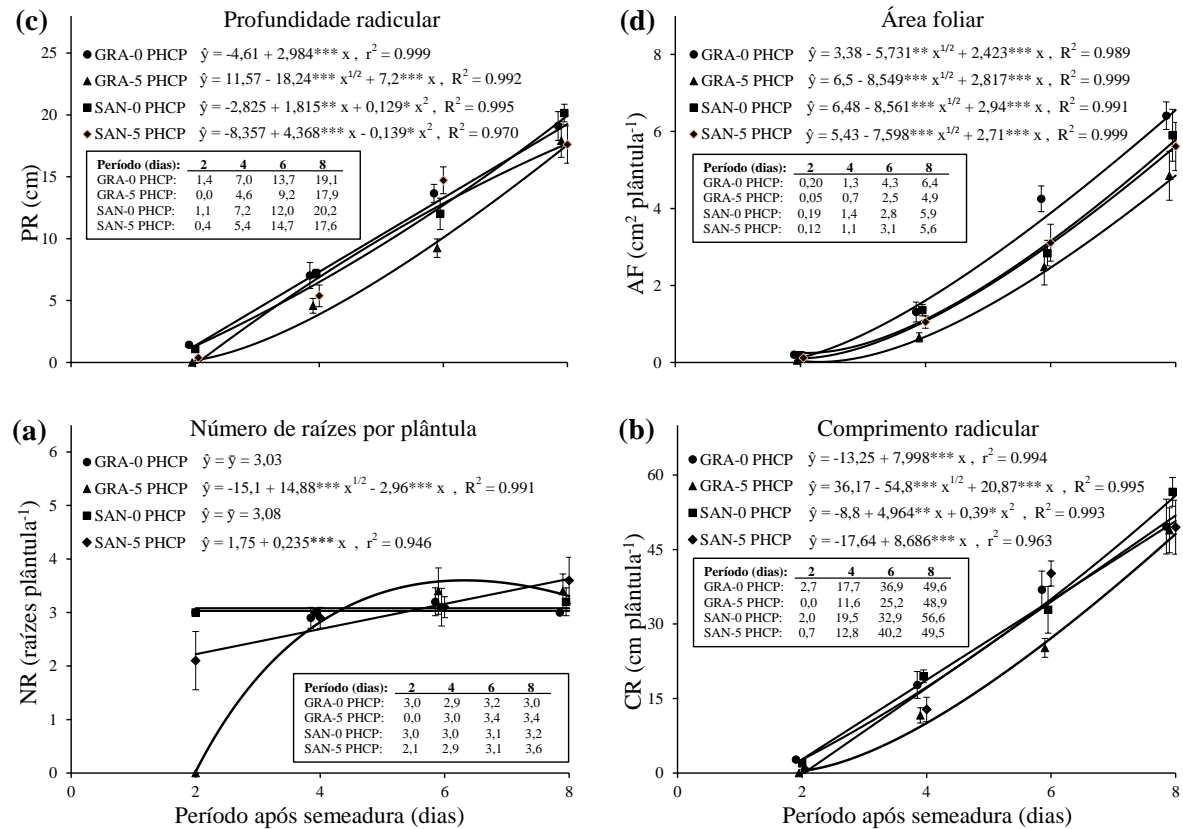


Figura 1. Desdobramento da análise de variância (ANOVA) para número de raízes (NR), comprimento (CR) e profundidade (PR) radiculares, e área foliar (AF) de plântulas de dois genótipos de trigo [BRS Galha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN)] cultivados em papel de germinação (Germitest®) durante quatro períodos (2, 4, 6 e 8 dias após semeadura), em função de duas doses de promotor hormonal de crescimento de plantas [0 mL kg⁻¹ (0 PHCP) e 5 mL kg⁻¹ (5 PHCP)] aplicadas nas sementes. Barras verticais junto às médias dos tratamentos correspondem ao intervalo de confiança a 95% de significância (n = 10) para cada período de crescimento da plântula, considerando cada combinação genótipo–PHCP. ***, ** e *: significância pelo teste F ao nível de $P < 0,001$, $P < 0,01$ e $P < 0,05$, respectivamente, dos coeficientes dos modelos de regressão ajustados. Caixas de texto dentro dos gráficos contêm as médias dos tratamentos para cada período de crescimento das plântulas. Fonte: Autores.

Aos 2 DAS ainda não haviam raízes nas sementes tratadas com PHCP da BRS Galha-Azul (Figura 2), ao passo que no tratamento controle foram encontradas uma média de 3 raízes plântula⁻¹ (quantidade que se manteve constante até 8 DAS). Por sua vez, nas sementes da BRS Sanhaço tratadas com PHCP houve redução de 30% do número de raízes emitidas aos 2 DAS; sendo que, aos 4 e 6 DAS não houve diferença entre os tratamentos, cujas médias foram de 2,95 e 3,1 raízes plântula⁻¹, respectivamente. Além disso, aos 8 DAS houve maior número de raízes

nos tratamentos que receberam PHCP (média de 3,5 raízes plântula⁻¹), quando comparados com as testemunhas (média de 3,1 raízes plântula⁻¹). Finalmente, houve mínima diferença entre as cultivares de trigo (dentro de cada período de crescimento) para a variável número de raízes/plântula.

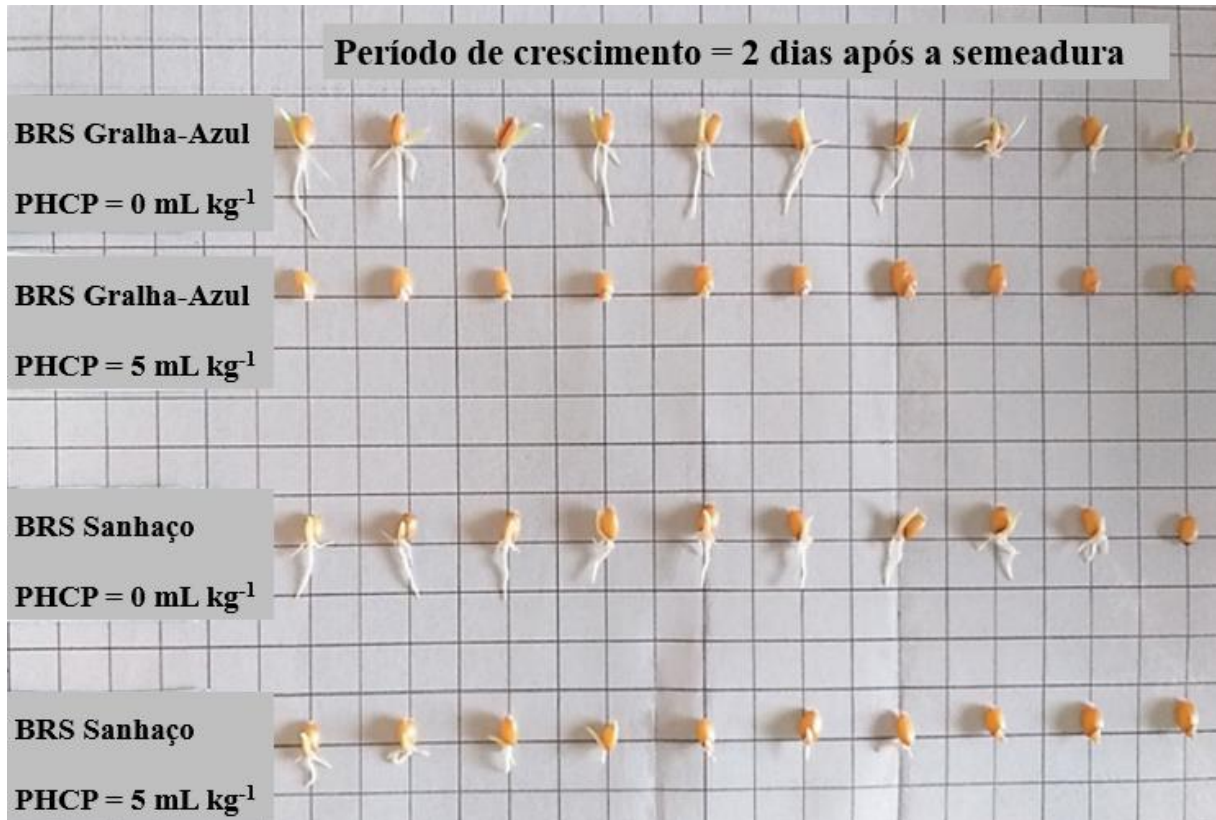


Figura 2. Plântulas de dois genótipos de trigo (BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados em papel de germinação (Germitest[®]), aos 2 dias após a semeadura, em resposta a duas doses (0 e 5 mL kg⁻¹) de um promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) aplicado nas sementes. Fonte: Sérgio Ricardo Silva.

A taxa média de crescimento de raízes foi de 8,3 cm plântula⁻¹ dia⁻¹ desde o segundo até o oitavo DAS (Figura 1b). No entanto, analisando individualmente cada tratamento, verifica-se, na maioria das situações, um menor comprimento de raízes nas plântulas provenientes de sementes tratadas com PHCP, principalmente aos 2 e 4 DAS, com decréscimos médios de 85 e 34,4%, respectivamente. De modo geral, não houve diferença de comprimento de raízes entre as cultivares de trigo, considerando individualmente cada período de crescimento (exceto aos 6 DAS).

A profundidade máxima alcançada pelo sistema radicular das plântulas apresentou um padrão de resposta aos fatores estudados similar àquele observado para o comprimento de

raízes, o que é confirmado pela elevada correlação de Pearson ($r = 0,987^{***}$) entre estas duas variáveis (Figura 1c).

Sementes da cultivar BRS Gralha-Azul tratadas com PHCP proporcionaram o desenvolvimento de plântulas com menor área foliar, com decréscimos de 75, 50, 42 e 24% nos períodos de 2, 4, 6 e 8 DAS, respectivamente (Figura 1d). Desta forma, as taxas médias de crescimento foliar foram de 1,04 e 0,8 cm² plântula⁻¹ dia⁻¹ desde o segundo até o oitavo DAS nas plântulas provenientes das sementes sem e com aplicação de PHCP, respectivamente. No caso das sementes da BRS Sanhaço, houve efeito inibitório do PHCP sobre a expansão da área foliar somente aos 2 DAS, com redução de 37%.

3.3.2. Segundo experimento – Crescimento de plântulas de trigo em solo afetado por doses e métodos de aplicação de PHCP em sementes e folhas

Dentre os fatores estudados, somente o 'genótipo' apresentou efeitos diretos sobre o crescimento de folhas aos 14 DAS, sem qualquer interação com os métodos de aplicação do PHCP (Tabela 2). Assim, a BRS Gralha-Azul obteve uma redução de 6,6% de comprimento foliar e aumentos de 9,1 e 7,6% de largura e área foliares, respectivamente, quando comparada com a BRS Sanhaço.

Tabela 2. Significância (*P-value*) da análise de variância (ANOVA) dos efeitos principais [genótipo (G), dose de promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) na semente (S), e dose de PHCP via foliar (F)] e de suas interações; e médias de número de raízes (NR) e comprimento radicular (CR) por plântula; comprimento (CF), largura (LF) e área (AF) foliares de dois genótipos de trigo (BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados durante 14 dias em vasos em condições controladas de casa de vegetação, em resposta à aplicação de PHCP nas sementes e nas folhas.

Fonte de variação	GL	NR	CR	CF	LF	AF
Genótipo (G)	1	ns	ns	*	**	*
PHCP-sem (S)	1	ns	ns	ns	ns	ns
PHCP-fol (F)	1	ns	ns	ns	ns	ns
G x S	1	ns	ns	ns	ns	ns
G x F	1	ns	ns	ns	ns	ns
S x F	1	*	*	ns	*	ns
G x S x F	1	ns	ns	ns	ns	ns
Resíduo	46					
CV (%)		15,0	23,2	8,2	7,3	10,3

Fator	Tratamento	NR (raízes planta ⁻¹)	CR (cm planta ⁻¹)	CF (cm folha ⁻¹)	LF (cm folha ⁻¹)	AF (cm ² planta ⁻¹)
Genótipo (G)	BRS Gralha-Azul	3,61	91,7	12,1 b	0,359 a	15,6 a
	BRS Sanhaço	3,63	93,7	12,9 a	0,329 b	14,5 b
PHCP-sem (S)	0 mL kg ⁻¹	3,59	87,7	12,3	0,345	14,8
	5 mL kg ⁻¹	3,65	97,7	12,6	0,343	15,2
PHCP-fol (F)	0 L ha ⁻¹	3,66	93,8	12,3	0,337	14,7
	0,5 L ha ⁻¹	3,58	91,6	12,6	0,351	15,3

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, individualmente para cada fator, não diferem entre si pelo teste F (de acordo com a ANOVA para cada fator). Fonte: Autores.

Os tratamentos de sementes e/ou de folhas de trigo com PHCP influenciaram os crescimentos radicular e foliar das plântulas, cujos efeitos são observados somente por meio do desdobramento das interações significativas entre estes dois métodos de aplicação de PHCP (Tabelas 2 e 3).

Tabela 3. Desdobramento da análise de variância (ANOVA) para número (NR) e comprimento de raízes (CR) por planta, e largura de folha (LF) de plântulas de dois genótipos de trigo (BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados durante 14 dias em vasos em condições controladas de casa de vegetação, em resposta à aplicação de um promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) nas sementes e nas folhas.

PHCP nas sementes	PHCP nas folhas					
	NR (raízes planta ⁻¹)		CR (cm planta ⁻¹)		LF (cm folha ⁻¹)	
	0 L ha ⁻¹	0,5 L ha ⁻¹	0 L ha ⁻¹	0,5 L ha ⁻¹	0 L ha ⁻¹	0,5 L ha ⁻¹
0 mL kg ⁻¹	3,44 bA	3,75 aA	80,9 bB	94,5 aA	0,350 aA	0,341 bA
5 mL kg ⁻¹	3,88 aA	3,42 aB	106,7 aA	88,8 aB	0,325 aB	0,360 aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste t ($P \geq 0,05$). Fonte: Autores.

O número de raízes e o comprimento radicular aos 14 DAS aumentaram 12,8 e 31,9%, respectivamente, em resposta à adição de PHCP nas sementes, sendo que estes efeitos foram exclusivos nos tratamentos que não receberam pulverização de PHCP nas folhas (Tabela 3). Por outro lado, a aplicação combinada de PHCP nas sementes e nas folhas proporcionou reduções de 11,9 e 16,8% do número de raízes e do comprimento radicular, respectivamente, quando comparada ao tratamento que recebeu PHCP somente nas sementes. Finalmente, o comprimento radicular aumentou 17% em resposta à aplicação de PHCP unicamente nas folhas.

A aplicação combinada de PHCP nas sementes e nas folhas resultou em aumentos da largura média de folha de 10,8 e 5,6%, aos 14 DAS, em relação aos tratamentos que receberam PHCP exclusivamente nas sementes ou nas folhas, respectivamente (Tabela 3). No entanto, estes aumentos de largura de folha não foram acompanhados por aumentos de área foliar.

3.4. DISCUSSÃO

3.4.1. Efeitos do PHCP sobre o crescimento radicular de plântulas de trigo

O PHCP atrasou a emissão inicial de raízes (aos 2 DAS), porém este retardo foi compensado nos dias seguintes por meio de um maior número de raízes emitidas. Este resultado pode ser atribuído ao condicionamento osmótico (ou efeito '*priming*'), que consiste na absorção de água pelas sementes sob condições controladas, havendo um estímulo no metabolismo das sementes durante esta fase de embebição, mas retardando a protrusão da raiz primária

(BEWLEY e BLACK, 1982). Afzal et al. (2013) observaram que esse fenômeno também pode ser induzido com a aplicação de fitohormônios, como a cinetina. Além disso, esses autores verificaram que o condicionamento osmótico de sementes de trigo com 50 mg L⁻¹ de cinetina resultou em plantas 6% mais altas e com incremento de 18% no rendimento de grãos. Em outro contexto, Bahrani e Pourreza (2012) verificaram que a aplicação de GA₃ em sementes de trigo resultou em decréscimo da taxa de germinação, sendo um resultado não esperado por eles, com base em outros relatos levantados previamente na literatura. Finalmente, Georgin et al. (2014) utilizaram o mesmo PHCP do presente trabalho no tratamento de sementes de trigo e não verificaram qualquer efeito do produto sobre a germinação das sementes aos 4 DAS.

Apesar de as taxas médias de aumento do comprimento radicular entre o segundo e o oitavo DAS terem sido semelhantes entre os tratamentos, as sementes que receberam PHCP tiveram o crescimento radicular retardado no período inicial (do segundo ao sexto DAS), recuperando o desenvolvimento posteriormente (ao oitavo DAS). Este comportamento também pode ser atribuído ao efeito de condicionamento osmótico proporcionado pelo PHCP, como abordado anteriormente. Deste modo, há evidências de que o PHCP apresenta rápida atuação sobre o metabolismo fisiológico da semente, logo após o início do processo de embebição e desenvolvimento do embrião. Além disso, há registros na literatura de que esta ação inicial do PHCP se prolonga ao longo do desenvolvimento das plântulas e dos estádios fenológicos da planta de trigo, uma vez que pode influenciar seu rendimento de grãos, como verificado por Oliveira et al. (2020).

A alta correlação de Pearson ($r = 0,987^{***}$) entre comprimento e profundidade radiculares deve-se ao fato de as plântulas de trigo terem apresentado (dentro de cada período de crescimento) um padrão de raízes seminais com semelhante comprimento e número/plântula, e poucas ramificações. Porém, esta alta correlação tende a diminuir com o avanço da idade da planta, à medida que ocorre aumento do número de ramificações (secundárias, terciárias, etc.) e a concentração do sistema radicular próximo à superfície do solo.

3.4.2. Efeitos do PHCP sobre o crescimento foliar de plântulas de trigo

O PHCP inibiu a expansão inicial da área foliar somente nas plântulas da cultivar BRS Gralha-Azul, evidenciando um efeito de interação interespecífica genótipo *versus* PHCP. Isto pode ser parcialmente atribuído ao semelhante efeito inibitório do PHCP sobre o desenvolvimento de raízes, uma vez que houve alta correlação de Pearson ($r = 0,948^{***}$) entre comprimento radicular e área foliar. No entanto, destaca-se que a intensidade deste efeito

inibitório decresceu com a idade das plântulas, desde o segundo até o oitavo DAS; porém, a magnitude deste decréscimo foi proporcionalmente maior para o comprimento radicular do que para a área foliar (Figuras 1b e 1d). Portanto, podemos deduzir que a área fotossinteticamente ativa da BRS Gralha-Azul foi mais prejudicada do que sua capacidade de absorção de água e nutrientes no estágio inicial de crescimento de suas plântulas (até o oitavo DAS). Por outro lado, Georgin et al. (2014) não verificaram efeito deste PHCP sobre o crescimento de folhas de plântulas de trigo aos 8 DAS. Finalmente, Tsegay e Andargie (2018) obtiveram efeitos positivos do tratamento de sementes de milho com GA₃ sobre o comprimento da parte aérea das plântulas aos 14 DAS. Portanto, pela análise conjunta destes resultados, há evidências de que a ação do PHCP se altera com a idade da plântula, iniciando com uma inibição do crescimento foliar, porém revertendo este efeito posteriormente.

Apesar de a aplicação combinada (nas sementes e nas folhas) de PHCP ter aumentado a largura das folhas aos 14 DAS, este aumento não se estendeu à área foliar das plântulas de trigo. Isto pode ser atribuído a um efeito compensatório de simultânea redução do comprimento foliar (embora não foi detectada pela análise estatística), indicando que o PHCP pode modificar o formato das folhas, interferindo, portanto, em sua anatomia.

3.4.3. Métodos de aplicação do PHCP na cultura do trigo

A análise global dos resultados indica que a aplicação do PHCP exclusivamente nas sementes é o método mais adequado, considerando apenas o desenvolvimento inicial das plântulas de trigo (até 14 DAS). Em segundo lugar, a exclusiva pulverização do PHCP nas folhas proporciona resultados intermediários. Finalmente, a combinação dos dois métodos de aplicação do PHCP não é indicada, pois reduz o desenvolvimento das raízes, possivelmente devido a um efeito antagônico sobre o metabolismo fisiológico das plântulas. Este antagonismo entre os métodos de administração do PHCP requer mais investigação, por meio de trabalhos científicos específicos para elucidar este fenômeno biológico.

3.5. CONCLUSÕES

A aplicação do PHCP nas sementes atrasa o crescimento inicial das raízes e a expansão da área foliar até 8 DAS. Porém, este efeito inibitório é revertido com o avanço da idade das plântulas de trigo.

Existe um efeito de interação interespecífica genótipo *versus* PHCP quanto ao desenvolvimento da área foliar de plântulas de trigo até 8 DAS.

A aplicação combinada de PHCP nas sementes e nas folhas ocasiona um efeito antagônico, com sistemática redução do crescimento de raízes das plântulas trigo até 14 DAS.

Pesquisa adicional é necessária para expandir a geração de resultados para outras cultivares de trigo. Além disso, recomenda-se a condução de experimentos em condições de campo até o final do ciclo da cultura, de modo a avaliar os impactos do PHCP sobre o rendimento de grãos, o que subsidiará os tricultores no processo de tomada de decisão.

3.6. REFERÊNCIAS

AFZAL, I.; BASRA, S. M. A.; CHEEMA, M. A.; FAROOQ, M.; JAFAR, M. Z.; SHAHID, M.; YASMEEN, A. Seed priming: A shot gun approach for alleviation of salt stress in wheat. **International Journal of Agriculture & Biology**, Mandsaur, v. 15, n. 6, p. 1199–1203, 2013.

BAHRANI, A., POURREZA, J. Gibberellic acid and salicylic acid effects on seed germination and seedlings growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress condition. **World Applied Sciences Journal**, Islamabad, v.1 8, n. 5, p. 633–641, 2012.

BASSOI, M. C.; RIEDE, C. R.; CAMPOS, L. A. C.; FOLONI, J. S. S.; NASCIMENTO JUNIOR, A.; ARRUDA, K. M.; SILVA, S. R. **Cultivares de trigo e triticales BRS e IPR – Embrapa e Iapar**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 68 p.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Physiology and biochemistry of seed in relation to germination: Viability, dormancy and environmental control**. 2. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1982. 378 p.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012, 590 p.

CATÃO, H. C. R. M.; MAGALHÃES, H. M.; SALES, N. L. P.; BRANDÃO JÚNIOR, D. S.; ROCHA, F. S. Incidência e viabilidade de sementes crioulas de milho naturalmente infestadas com fungos em pré e pós-armazenamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43 n. 5, p. 764–770, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica das safras – Trigo**. Brasília: Conab, 2020a.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Trigo – Análise mensal – Junho/2020**. Brasília: Conab, 2020b. 6 p.

CRUZ, C. D. GENES – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271–276, 2013.

EUCLYDES, R. F. **Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas)**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1983. 59 p.

IUSS WORKING GROUP WRB. **World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. Rome: FAO, 2015. 192 p. (World Soil Resources Reports, n. 106)

GEORGIN, J., LAZZARI, L., LAMEGO, F. P.; CAMPONOGARA, A. Desenvolvimento inicial de trigo (*Triticum aestivum*) com uso de fitohormônios, zinco e inoculante no tratamento de sementes. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 18, n.4, p. 1318–1325, 2014.

KÖCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. Petrópolis: Vozes, 2011. 184p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399 p.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed., Londrina: ABRATES, 2015. 660 p.

OLIVEIRA, A. J.; GARRRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D.; LOURENÇO, S. (Org.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: Embrapa, 1991. 392 p.

OLIVEIRA, S.; LEMES, E. S.; NEVES, E. H.; RITTER, R.; MENDONÇA, A. O.; MENEGHELLO, G. E.. Uso de biorregulador e seus reflexos na produção e na qualidade de sementes de trigo. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 16, n. 1, p. 1–11, 2020.

PEREIRA, A. S.; SHITSUKA, D. M.; PARREIRA, F. J.; SHITSUKA, R. **Metodologia da pesquisa científica**. 1. ed. Santa Maria: UFSM, NTE, 2018. 119 p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353 p.

SILVA, S. R.; PIRES, J. L. F. Resposta do trigo BRS Guamirim à aplicação de *Azospirillum*, nitrogênio e substâncias promotoras do crescimento. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 4, p. 631–638, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 819 p.

TENNANT, D. A. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, London, v. 63, n. 3, p. 995–1001, 1975.

TSEGAY, B. A.; ANDARGIE, M. Seed priming with gibberellic acid (GA₃) alleviates salinity induced inhibition of germination and seedling growth of *Zea mays* L., *Pisum sativum* var. abyssinicum A. Braun and *Lathyrus sativus* L. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, New York, v. 21, p. 261–267, 2018.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World agricultural production**. Washington: USDA, 2020. 38 p. (Circular Series, WAP 1-21)

YU, H.; WANG, L. L.; CHEN, X. Y.; YANG, Y.; YU, X. R.; WANG, Z.; XIONG, F. Effects of exogenous gibberellic acid and abscisic acid on germination, amylases, and endosperm structure of germinating wheat seeds. **Seed Science and Technology**, Basserdorf, v. 44, p. 64–76, 2016.

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

4. CAPÍTULO B – PROMOTOR HORMONAL DE CRESCIMENTO DE PLANTAS E SEUS EFEITOS NA ABSORÇÃO DE N, P, K, Ca E Mg E NO RENDIMENTO DE GRÃOS DE TRIGO

RESUMO

Diversas substâncias promotoras do crescimento de plantas têm sido comercializadas na agricultura, especialmente hormônios sintéticos, tais como cinetina (KIN, citocinina), ácido giberélico (GA₃, giberelina) e ácido-3-indolbutírico (IBA, auxina). Porém, faltam trabalhos científicos para comprovar o efeito agrônomo destas substâncias usadas de forma conjunta sobre as principais culturas agrícolas. O objetivo deste trabalho foi avaliar doses e métodos de aplicação de um promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP: 0,09 g L⁻¹ de KIN, 0,05 g L⁻¹ de GA₃ e 0,05 g L⁻¹ de IBA) e seus efeitos sobre o rendimento de grãos, e sobre a absorção e eficiência de utilização de N, P, K, Ca and Mg de genótipos trigo, considerando diferentes condições ambientais. A pesquisa foi realizada em condições de campo no município de Londrina, no estado do Paraná, Brasil. Foi utilizado um delineamento estatístico em blocos casualizados, considerando o arranjo fatorial 2 x 3 x 4, composto por dois genótipos de trigo (cultivares BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço), três doses de PHCP (0, 5 e 10 mL kg⁻¹) aplicadas diretamente nas sementes, e quatro doses de PHCP (0; 0,25; 0,5 e 1 L ha⁻¹) pulverizadas sobre as folhas no perfilhamento pleno. Foram avaliados os componentes de rendimento de grãos, a absorção e a eficiência de utilização de N, P, K, Ca e Mg dos genótipos de trigo. O PHCP influenciou algumas características agrônomicas das plantas de trigo, a eficiência de utilização e a absorção de nutrientes, principalmente de N. Houve uma diversidade de interações entre materiais genéticos, técnicas de aplicação do PHCP e condições ambientais; porém, esses efeitos não se reverteram em mudanças no rendimento de grãos. O inconsistente padrão de resposta da planta ao PHCP dificulta a utilização assertiva do produto pelo triticultor.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*, hormônio vegetal sintético, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio.

ABSTRACT: Hormonal plant growth promoter and its effects on N, P, K, Ca and Mg uptake and wheat grain yield

Several plant growth-promoting substances have been commercialized in agriculture, especially synthetic hormones, such as kinetin (KIN, cytokinin), gibberellic acid (GA₃, gibberellin) and indole-3-butyric acid (IBA, auxin). However, there is a lack of scientific work to prove the agronomic effect of these substances used together on the main agricultural crops. The objective of this work was to evaluate rates and application methods of a hormonal plant growth promoter (HPGP: 0.09 g L⁻¹ of KIN, 0.05 g L⁻¹ of GA₃, and 0.05 g L⁻¹ of IBA) and its effects on grain yield, and on the uptake and utilization efficiency of N, P, K, Ca and Mg in wheat genotypes, considering different environmental conditions. The research was carried out in field conditions in the municipality of Londrina, Paraná State, Brazil. A statistical design in randomized block was used, considering the 2 x 3 x 4 factorial arrangement, composed by two wheat genotypes (BRS Gralha-Azul and BRS Sanhaço cultivars), three HPGP rates (0, 5, and 10 mL kg⁻¹) applied directly on the seeds, and four rates of the HPGP (0, 0.25, 0.5 and 1 L ha⁻¹) sprayed on the leaves at full tillering. The grain yield components and the nutritional efficiencies (uptake and utilization) of N, P, K, Ca, and Mg of wheat genotypes were evaluated. The HPGP influenced some agronomic features of wheat plants, the utilization efficiency and the uptake of nutrients, mainly N. There was a diversity of interactions among genetic materials, HPGP application techniques, and environmental conditions; however, these effects did not provide changes in grain yield. The inconsistent plant response pattern to HPGP hinders the assertive use of the product by wheat farmers.

Keywords: *Triticum aestivum*, synthetic vegetal hormone, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium.

4.1. INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum*) é uma cultura de inverno que se destaca como um dos três cereais mais cultivados no mundo (juntamente com arroz e milho), proporcionando segurança alimentar e nutricional a várias civilizações (OLIVEIRA NETO e SANTOS, 2017).

O rendimento de grãos de trigo no Brasil tem sido de baixa magnitude (média de 2.469 kg ha⁻¹ nas safras de 2016/2017 a 2018/2019; CONAB, 2020a) quando comparada com outros importantes países produtores do cereal, como Argentina (3.112 kg ha⁻¹; MAGYP, 2020) e

Estados Unidos (3.267 kg ha^{-1} ; USDA, 2020), o que torna o Brasil menos competitivo no cenário tritícola mundial. Como resultado, o país não tem sido autossuficiente na produção de trigo, que o leva a importar mais da metade de sua demanda para suprir seu consumo interno (CONAB, 2020b). Portanto, é imprescindível inovar, utilizando novas tecnologias capazes de aumentar a produtividade brasileira de trigo.

Há evidências de que o rendimento de grãos dos principais cereais (arroz, milho e trigo) pode ser incrementado pelo uso de substâncias promotoras do crescimento vegetal (ABDOLI et al., 2010). Recentemente, alguns hormônios sintéticos têm sido registrados comercialmente no Brasil para uso em culturas agrícolas. Entre eles, destacam-se os seguintes hormônios: cinetina (KIN; pertencente ao grupo da citocinina), ácido giberélico (GA_3 ; grupo da giberelina), ácido-3-indolbutírico (IBA; grupo da auxina) e ácido indol-3-acético (AIA; grupo da auxina). Estas substâncias são aplicadas sobre sementes e folhas para proporcionar efeitos benéficos sobre o metabolismo das plantas (durante a germinação e desenvolvimentos vegetativo e reprodutivo), visando o aumento de sua produtividade (CATO et al., 2013; SILVA e PIRES, 2017). Os hormônios vegetais são mensageiros químicos produzidos pelas células, que modulam os processos fisiológicos e metabólicos, mesmo sob baixas concentrações (TAIZ e ZEIGER, 2013). Portanto, eles influenciam o crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas.

Dentre as auxinas sintéticas, o AIA tem sido amplamente estudado na agricultura para muitas culturas. Muhammd et al. (2016) demonstraram, sob condições adversas de disponibilidade hídrica, que esse hormônio pode melhorar a tolerância de cultivares de trigo à deficiência de água. Por outro lado, a aplicação exógena de AIA pode inibir parcialmente o perfilhamento na cultura do trigo, afetando seu rendimento de grãos (CAI et al., 2018). Por sua vez, Báez-Pérez et al. (2015), estudando outra auxina, verificaram que a pulverização de AIB na cultura do trigo (aos 28 dias após a emergência das plântulas), aumentou em 13% seu rendimento de grãos, em relação ao tratamento controle.

Iqbal e Ashraf (2013) estudaram a eficácia da aplicação de GA_3 nas sementes de cultivares de trigo visando um efeito mitigatório que favorecesse o crescimento das plantas sob condição de estresse salino no solo. Eles demonstraram que a administração do GA_3 foi efetiva em reduzir os efeitos indesejáveis causados pela salinidade, pois houve aumentos de rendimento de grãos de 80 e 43% para as cultivares MH-97 e Inqlab-91, respectivamente. Cai et al. (2014) avaliaram a aplicação de dois promotores hormonais (GA_3 e AIA) na cultura do trigo, e obtiveram incrementos médios de rendimento de grãos de 8,4% (607 kg ha^{-1}) e 16,7% (1.211 kg ha^{-1}) com a pulverização foliar de GA_3 ou AIA, respectivamente.

Citocinina é outro importante grupo de hormônios vegetais que tem sido investigado para fins agrícolas. Nagar et al. (2015) obtiveram eficácia da pulverização foliar de 40 μM da KIN 6-benzylaminopurina (6-BPA) em cultivares de trigo submetidas ao estresse hídrico em vasos dispostos em condições de campo. A aplicação de 6-BPA proporcionou aumentos médios de 8,3 e 48,2% no rendimento de grãos (em g planta^{-1}) nos tratamentos com irrigação ou sob déficit hídrico, respectivamente. Eles também obtiveram incrementos de até 9% na concentração de nitrogênio (N) na biomassa da parte aérea de uma das cultivares, que foi avaliada no estágio fenológico de antese. A ação da 6-BPA aplicada em cultivares de trigo também foi avaliada por Zheng et al. (2016), que comprovaram efeitos benéficos na melhoria da formação de flores, com consequente aumento do rendimento de grãos.

Como mencionado anteriormente, tem havido uma relativa abundância de pesquisas sobre o efeito isolado de cada hormônio sintético sobre o rendimento de grãos de trigo. Por outro lado, poucos estudos têm investigado a ação conjunta desses hormônios, principalmente focando na absorção e na eficiência de uso de nutrientes pelas plantas. Ensaio de campo, com rigor científico, têm sido demandados pelos agricultores para validar a eficácia dos promotores hormonais atualmente indicados pelo setor comercial de produtos agrícolas. Nós hipotizamos que a aplicação simultânea de três tipos de hormônios sintéticos, formulados em um mesmo produto, não é apropriada, pois cada hormônio tem ação específica sobre processos fisiológicos e/ou metabólicos distintos, que atuam em diferentes estágios fenológicos do trigo, associados ou não com a absorção de nutrientes e rendimento de grãos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar doses e métodos de aplicação de um promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP: 0,09 g L^{-1} de KIN, 0,05 g L^{-1} de GA_3 e 0,05 g L^{-1} de IBA) e seus efeitos sobre o rendimento de grãos, a absorção e a eficiência de utilização de N, P, K, Ca and Mg de genótipos trigo, considerando diferentes condições ambientais.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Descrição ambiental do local do experimento

A pesquisa foi realizada durante duas safras agrícolas (2016 e 2017) em condições de sequeiro em sistema plantio direto em uma fazenda experimental da Embrapa Soja (23°11'37" S, 51°11'03" W; altitude de 628 m) localizada na região de Londrina, estado do Paraná, Brasil. Seu relevo é suavemente ondulado, e o solo da área experimental é um Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo

(SANTOS et al. 2013), ou clayey Rhodic Eutrudox segundo o USDA Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2014). As principais propriedades físicas e químicas do solo das áreas experimentais utilizadas nas safras de 2016 e 2017 estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades químicas e físicas do solo (camadas de 0–10 e 10–20 cm) do experimento conduzido no município de Londrina, estado do Paraná, Brasil, nas safras de 2016 e 2017

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 dm ⁻³	Argila	Silt	Areia
Área experimental da safra de 2016														
0–10	5,2	15,3	43,5	263	0,02	3,47	2,01	4,91	11,05	55,7	1,32	732	161	107
10–20	5,2	15,0	35,1	235	0,01	3,69	2,08	5,31	11,69	54,3	1,31	762	146	92
Área experimental da safra de 2017														
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

⁽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.

O clima regional, de acordo com a classificação de Köppen (1931), é subtropical úmido (Cfa), com verão quente e chuvoso, geadas esparsas, sem estação seca definida, e com temperatura e precipitação médias anuais de 21,2 °C e 1.392 mm, respectivamente. As variáveis ambientais registradas durante as safras de trigo por uma estação meteorológica (localizada a 400 m do experimento) serão apresentadas no tópico "resultados".

4.2.2. Delineamento experimental e tratamentos

Foi utilizado um delineamento em blocos casualizados, com três repetições, considerando o arranjo fatorial 2 x 3 x 4 (totalizando 72 unidades experimentais) composto por dois genótipos de trigo (cultivares BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço), três doses (0, 5 e 10 mL kg⁻¹) do PHCP [composição: 0,09 g L⁻¹ de cinetina (KIN); 0,05 g L⁻¹ de ácido giberélico (GA₃); 0,05 g L⁻¹ de ácido indol-3-ilbutírico (AIB)] aplicadas diretamente nas sementes, e quatro doses de PHCP (0; 0,25; 0,5 e 1 L ha⁻¹) pulverizadas sobre as folhas no perfilhamento pleno [estádio

de crescimento EC28 da escala de Zadoks (ZADOKS et al., 1974)]. Os estádios de aplicação e as doses do PHCP foram baseados nas recomendações técnicas do fabricante para a cultura do trigo (i.e., 4–6 mL kg⁻¹ nas sementes; e 0,25–0,5 L ha⁻¹ nas folhas no estágio de perfilhamento). As sementes de ambas cultivares apresentavam a mesma idade (~7 meses), sendo provenientes de safras anteriores cultivadas em Londrina e armazenadas em câmara fria até o uso nos experimentos.

A aplicação do PHCP nas sementes (com um volume de mistura de 5 ou 10 mL kg⁻¹ de sementes) foi realizada dentro de sacos plásticos, seguida de agitação até que as sementes estivessem completamente recobertas pelo produto. No tratamento controle (0 mL kg⁻¹ de PHCP) foi utilizada água destilada (10 mL kg⁻¹ de sementes). Após três horas de embebição as sementes foram semeadas nas respectivas parcelas experimentais, sem qualquer tratamento adicional com fungicidas ou inseticidas.

No processo de pulverização de PHCP sobre as folhas, o produto foi aplicado utilizando um pulverizador costal (com uma pressão constante de 30 lb pol⁻²), contendo um tanque de CO₂ comprimido e uma lança manual de 1,5 m equipada com quatro bicos de pulverização do tipo jato plano (“leque”) Teejet XR 110-020, para aplicação de um volume de calda de 200 L ha⁻¹.

Com relação à fenologia, BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço são classificadas como cultivares de ciclo médio, apresentando desde a emergência até maturação em média 124 e 112 dias, respectivamente (BASSOI et al., 2019). Elas apresentam o período entre a emergência das plântulas e o espigamento muito similar, com diferença média de dois dias.

A unidade experimental possuía 6 m de comprimento por 1,6 m de largura (9,6 m²), consistindo de nove linhas de semeadura espaçadas 0,18 m entre si. A parcela mensurável foi composta por sete linhas centrais de 6 m de comprimento (7,5 m²). O trigo foi semeado em 29 de abril de 2016 (safra 1) e 11 de maio de 2017 (safra 2), com um implemento de semeadura-adubação desenvolvido para parcelas experimentais e sistema plantio direto (Semeato[®]). A densidade de semeadura foi estabelecida de acordo com a recomendação do obtentor-melhorista (350 sementes viáveis m⁻² para ambas as cultivares de trigo). A semeadura foi realizada a aproximadamente 4 cm de profundidade em sulcos no solo (em área coberta por palhada de milho). Adubos nitrogenado (20 kg ha⁻¹ de N), fosfatado (70 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e potássico (40 kg ha⁻¹ de K₂O) foram aplicados na semeadura. Ervas daninhas, insetos-praga e doenças fúngicas foram controladas conforme necessário, usando pesticidas comerciais, de acordo com as recomendações técnicas para a produção de trigo (CBPTT, 2017). Além disso, foi realizada uma adubação nitrogenada de cobertura (40 kg ha⁻¹ de N, como NH₄NO₃) no início do perfilhamento do trigo (Zadoks EC22).

4.2.3. Matéria seca da parte aérea e eficiência de utilização de N, P, K, Ca e Mg

A matéria seca da parte aérea (MSPA) foi avaliada nas safras de 2016 e 2017 quando as plantas estavam no estágio de florescimento (Zadoks EC61). Para esse propósito, foram realizadas amostragens dentro de cada parcela mensurável, colhendo duas linhas de 0,5 m de comprimento (0,18 m²). A MSPA foi determinada após a secagem das amostras até massa constante, utilizando uma estufa com circulação forçada de ar a 65 °C. O florescimento foi escolhido para esta avaliação devido ser o estágio fenológico com maior conteúdo de N absorvido pela planta, apresentando, portanto, maior contribuição para a formação e rendimento de grãos de trigo (WIETHÖLTER, 2011).

As amostras secas de tecido vegetal foram moídas em moinho tipo Wiley de aço inoxidável, passadas em peneira de 0,1 mm de malha, para subsequente determinação de N pelo método de Kjeldahl, fósforo (P) por colorimetria, potássio (K) por fotometria de chama, e cálcio (Ca) e magnésio (Mg) por espectrometria de absorção atômica (SILVA, 2009). Para avaliação de N, P, K, Ca e Mg absorvidos pela planta, os conteúdos desses nutrientes foram estimados a partir dos respectivos teores na MSPA [conteúdo (kg ha⁻¹) = matéria seca (kg ha⁻¹) x concentração (dag kg⁻¹) / 100].

As eficiências de N, P, K, Ca e Mg das plantas foram estimadas por meio do cálculo da eficiência de utilização (EU; Siddiqui e Glass, 1981), de acordo com a equação (Eq. 1):

$$EU (g^2 mg^{-1}) = \frac{(g \text{ de MSPA})^2}{mg \text{ de N ou P ou K ou Ca ou Mg na MSPA}} \quad (\text{Eq. 1})$$

4.2.4. Rendimento de grãos e características agrônômicas do trigo

O rendimento de grãos de trigo foi determinado pela colheita de plantas no estágio de maturidade de colheita dentro das parcelas mensuráveis, utilizando uma colhedora automotriz desenvolvida para pequenas parcelas de cereais (Wintersteiger®). A área colhida abrangeu sete linhas com 6 m de comprimento, dentro de cada parcela mensurável. O teor de umidade dos grãos foi avaliado, registrado e ajustado para 13% para o cálculo do rendimento. Além disso, foram avaliados o peso hectolitro (PH), o peso de mil grãos (PMG), a altura (média de cinco plantas por parcela) e a população final de plantas férteis (espigas m⁻²) [determinada através da contagem do número total de espigas em duas linhas de plantas com 0,5 m de extensão] no estágio de maturidade fisiológica, e o acamamento de plantas (método visual adaptado de EMBRAPA, 2009) na véspera da colheita do experimento.

4.2.5. Análises estatísticas

Os dados experimentais, para cada safra (2016 ou 2017), foram analisados por meio do pacote estatístico GENES[®] (CRUZ, 2013). Para uma análise das pressuposições dos modelos, foram realizados o teste de Lilliefors para normalidade e o teste de Bartlett para homogeneidade de variância. Os coeficientes de assimetria e curtose também foram avaliados. De acordo com esses testes, nenhuma transformação de dados foi necessária. Atendidas todas as pressuposições requeridas para uma válida análise de variância (ANOVA), foi realizado o teste F. Quando a ANOVA resultou em um significativo valor de P ($P \leq 0,05$), as médias das doses do PHCP aplicadas nas sementes foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); e as médias das quatro doses do PHCP pulverizadas nas folhas foram ajustadas por meio de análises de regressão para os modelos linear, quadrático e quadrático base raiz quadrada (que melhor se ajustam biologicamente aos resultados experimentais) usando o pacote estatístico SAEG[®] (EUCLYDES, 1997). Os coeficientes dos modelos ajustados foram avaliados pelo teste F (para os níveis de significância $P < 0,001$, $P < 0,01$ e $P < 0,05$), considerando nos cálculos o quadrado médio do resíduo proveniente da ANOVA do experimento. Finalmente, dentre dois ou mais modelos com coeficientes significativos, foi escolhido aquele com o maior coeficiente de determinação (R^2).

4.3. RESULTADOS

4.3.1. Condições meteorológicas e seus efeitos sobre o rendimento de grãos de trigo

O experimento de campo foi desenvolvido em dois ambientes distintos, considerando que as estações de crescimento de trigo em 2016 e 2017 foram submetidas a diferentes condições meteorológicas (Figura 1). Deste modo, a safra de 2016 foi beneficiada pela melhor distribuição e quantidade de chuvas (465,3 mm), temperaturas mais amenas (média de 17,6 °C) e menor déficit hídrico acumulado (77,3 mm) que ocorreu fora dos estádios fenológicos críticos (i.e., estabelecimento inicial das plântulas e enchimento de grãos) da cultura do trigo (Figuras 1a e 1c). Por sua vez, a safra de 2017 teve temperatura média de 19,1 °C e recebeu 312,8 mm de chuva, que é considerado um volume adequado de água para a cultura. Contudo, ele foi concentrado nos primeiros 34 dias após a semeadura e próximo ao florescimento (Figura 1b), resultando em um déficit hídrico acumulado de 103,7 mm, que ocorreu predominantemente nos estádios fenológicos de alongamento do colmo e enchimento de grãos (Figura 1d). Estas

diferenças ambientais resultaram em um decréscimo médio de rendimento de grãos de 36,7%, ou seja, de 3.395 kg ha⁻¹ em 2016 para 2.149 kg ha⁻¹ em 2017 (Tabela 1), afetando também as demais características da planta avaliadas no experimento, assim como influenciando as respostas do trigo à aplicação dos tratamentos com PHCP, como mostrado a seguir.

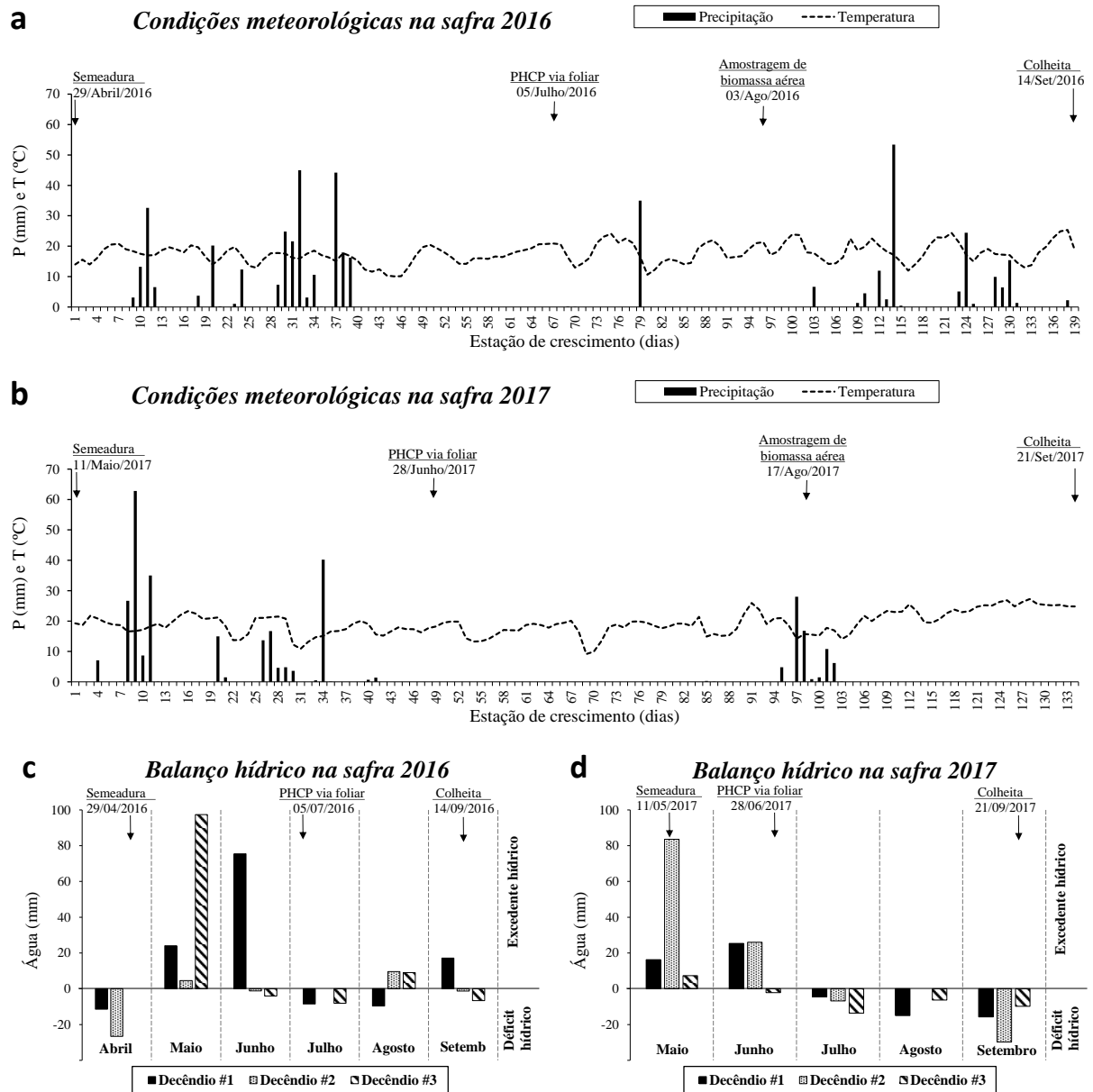


Figura 1. Precipitação (P), temperatura (T) média e balanço hídrico (THORNTHWAITTE e MATHER, 1955) nas safras de trigo de 2016 (29/04 a 14/09 = 139 dias; gráficos "a" e "c") e 2017 (11/05 a 21/09 = 134 dias; gráficos "b" e "d") no município de Londrina, estado do Paraná, Brasil.

4.3.2. Componentes de rendimento e características agronômicas do trigo

Aplicações exógenas de PHCP não influenciaram o rendimento de grãos, a densidade de plantas férteis, o acamamento e a altura de plantas de trigo nas duas safras (Tabela 2). No entanto, o peso hectolítrico (PH) e o peso de mil grãos (PMG) apresentaram algumas interações significativas entre ambos os fatores estudados (genótipo, PHCP nas sementes, e PHCP nas folhas).

Assim, na safra de 2016 o PH foi reduzido pela aplicação de doses de PHCP nas folhas, embora somente quando combinadas com 5 mL kg⁻¹ do promotor hormonal administrado nas sementes, proporcionando uma pequena redução (de até 2%) do PH (Figura 2a). Entretanto, considerando as parcelas com aplicação do promotor hormonal exclusivamente nas sementes, houve aumento de 3% do PH devido à adição de 10 mL kg⁻¹ de PHCP, quando comparado ao tratamento controle (0 mL kg⁻¹). Na safra de 2017 o PMG foi influenciado pela interação entre o PHCP aplicado nas sementes e os genótipos de trigo, com aumento de PMG de 3,8% a favor da BRS Galha-Azul, porém, considerando somente as parcelas cujas sementes receberam 5 mL kg⁻¹ de PHCP (Figura 2b).

Houve expressão genética das diferenças entre os genótipos de trigo para a maioria das características agronômicas (exceto para densidade de plantas férteis) em ambas safras agrícolas (Tabela 2). O rendimento de grãos foi superior em aproximadamente 10% para BRS Galha-Azul em 2016, e 12,8% para BRS Sanhaço em 2017. O PH da BRS Galha-Azul foi apenas 1,5% superior em 2017. Por sua vez, a BRS Sanhaço obteve maior PMG (4,2% superior) e menor acamamento (48,8% inferior) em 2016. Finalmente, a BRS Galha-Azul foi 7,9% mais alta, considerando a média das duas safras.

Tabela 2. Significância (*P*-value) da análise de variância dos efeitos principais [genótipo, doses de promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) nas sementes ou nas folhas] e de suas interações; e médias de rendimento de grãos (RG), peso hectolítrico (PH), peso de mil grãos (PMG), densidade de plantas férteis (DPF), acamamento (ACAM) e altura (ALT) de plantas de trigo, cultivado em Londrina (PR) nas safras de 2016 e 2017.

Fonte de variação	GL ⁽¹⁾	RG		PH		PMG		DPF		ACAM		ALT	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Bloco	2	ns ⁽³⁾	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	-	ns	ns
Genótipo (G)	1	***	***	ns	***	***	**	ns	ns	***	-	***	***
PHCP-Sem (S)	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns
PHCP-Folha (F)	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns
G x S	2	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	-	ns	ns
G x F	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns
S x F	6	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns
G x S x F	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns
CV (%) ⁽²⁾		11,4	11,7	1,8	1,4	4,4	2,2	17,8	16,3	28,5	-	4,9	5,5

Fator	Tratamento	RG (kg ha ⁻¹)		PH (kg hL ⁻¹)		PMG (g)		DPF (espigas m ⁻²)		ACAM (%)		ALT (cm)	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Genótipo	BRS Gralha-Azul	3558 a	2278 b	80,1	85,8 a	35,4 b	29,4	380,3	385,3	78,2 a	0	81,8 a	68,8 a
	BRS Sanhaço	3232 b	2020 a	80,1	84,5 b	36,9 a	28,9	389,2	368,3	40,0 b	0	77,0 b	62,6 b
PHCP-Sem (mL kg ⁻¹)	0	3480	2101	80,2	85,1	36,5	29,1	384,1	378,1	55,4	0	78,4	64,7
	5	3328	2170	79,6	85,1	35,9	29,1	395,1	374,2	61,0	0	79,2	66,8
	10	3377	2177	80,5	85,2	36,1	29,3	375,0	378,1	60,8	0	80,6	65,7
PHCP-Folha (L ha ⁻¹)	0	3295	2172	80,3	84,9	36,4	29,2	386,4	349,7	61,1	0	78,3	65,4
	0,25	3424	2225	80,0	85,3	35,8	29,2	388,6	386,7	57,5	0	81,3	65,4
	0,5	3422	2021	79,8	84,9	35,8	29,2	377,7	370,0	59,4	0	79,8	65,4
	1	3439	2179	80,4	85,4	36,6	29,1	386,4	400,8	58,3	0	78,3	66,6

⁽¹⁾GL = graus de liberdade (nota: GL do resíduo = 46); ⁽²⁾CV = coeficiente de variação. ⁽³⁾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, individualmente para cada fator, não diferem entre si pelo teste F para o fator G ou pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$) para o fator S.

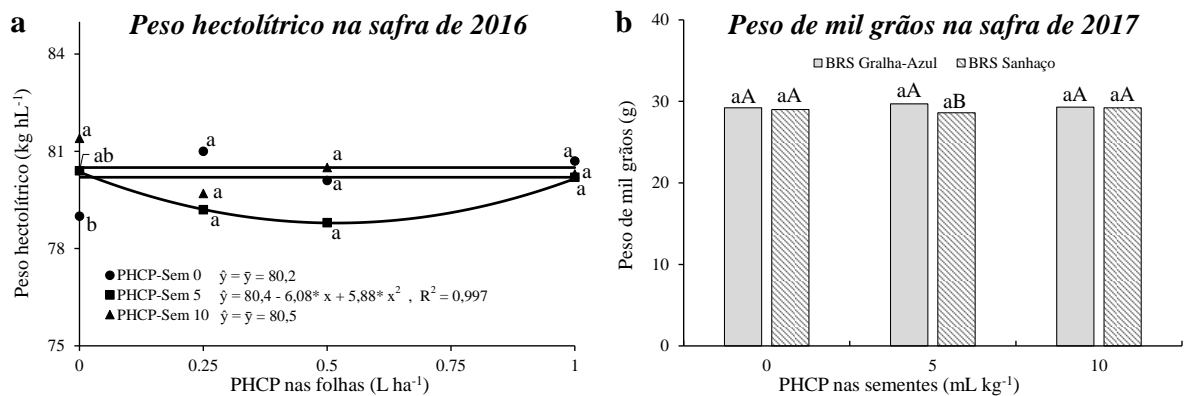


Figura 2. Desdobramento da análise de variância (ANOVA) para peso hectolétrico (PH; gráfico "a") e peso de mil grãos (PMG; gráfico "b") de dois genótipos de trigo (BRS Galha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados em Londrina (PR) nas safras de 2016 e 2017, em função de doses de promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) aplicadas nas sementes (0, 5 e 10 mL kg⁻¹) e/ou nas folhas (0; 0,25; 0,5 e 1 L ha⁻¹). No gráfico "a", letras minúsculas iguais (individualmente para cada dose de PHCP foliar) indicam que os tratamentos com PHCP nas sementes não diferem significativamente (Tukey, $P \geq 0,05$). No gráfico "b", colunas comparando doses de PHCP nas sementes (individualmente para cada genótipo) seguidas por mesma letra minúscula, ou comparando genótipos (individualmente para cada dose de PHCP) seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste t ($P \geq 0,01$) ou pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$), respectivamente.

4.3.3. Matéria seca da parte aérea e absorção de N, P, K, Ca e Mg em plantas de trigo

O acúmulo de matéria seca da parte aérea (MSPA) foi influenciado somente pelo fator genótipo na safra de 2016, quando a BRS Galha-Azul apresentou um acréscimo de 13,4% (899 kg ha⁻¹) de biomassa, em relação à BRS Sanhaço (Tabela 3).

Dentre os nutrientes avaliados, somente o P não apresentou sua concentração na MSPA alterada pelos tratamentos, em ambas safras (Tabela 4). As concentrações de Ca e de Mg foram maiores na BRS Galha-Azul, com acréscimos médios de 24,5 e 11,3%, respectivamente, em relação à BRS Sanhaço. Na safra de 2016, a concentração de K foi 4,9% superior e a concentração de N foi 4,9% inferior na MSPA da BRS Galha-Azul.

Tabela 3. Significância (*P*-value) da análise de variância dos efeitos principais [genótipo, doses de promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) nas sementes ou nas folhas] e de suas interações; e médias de matéria seca da parte aérea (MSPA) e de concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na MSPA de plantas de trigo, cultivado em Londrina (PR) nas safras de 2016 e 2017.

Fonte de variação	GL ⁽¹⁾	MSPA		N		P		K		Ca		Mg	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Bloco	2	ns ⁽³⁾	ns	***	*	ns	***	***	**	ns	***	**	ns
Genótipo (G)	1	**	ns	*	ns	ns	ns	**	ns	***	***	***	***
PHCP-Sem (S)	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PHCP-Folha (F)	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
G x S	2	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
G x F	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
S x F	6	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
G x S x F	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%) ⁽²⁾		20,0	20,5	9,1	11,1	13,5	16,4	7,2	12,5	9,0	10,6	7,3	11,3

Fator	Tratamento	MSPA (kg ha ⁻¹)		N (g kg ⁻¹)		P (g kg ⁻¹)		K (g kg ⁻¹)		Ca (g kg ⁻¹)		Mg (g kg ⁻¹)	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Genótipo	BRS Gralha-Azul	7625 a	5542	13,5 b	12,2	1,25	1,11	17,0 a	10,7	2,13 a	2,19a	1,26 a	1,21 a
	BRS Sanhaço	6726 b	5208	14,2 a	12,0	1,23	1,06	16,2 b	10,3	1,69 b	1,78b	1,14 b	1,08 b
PHCP-Sem (mL kg ⁻¹)	0	7255	5240	13,6	12,1	1,19	1,07	16,3	10,7	1,92	2,01	1,20	1,14
	5	7148	5458	14,1	12,0	1,27	1,08	16,9	10,5	1,95	1,96	1,22	1,17
	10	7123	5427	13,9	12,2	1,26	1,12	16,7	10,3	1,86	1,98	1,18	1,13
PHCP-Folha (L ha ⁻¹)	0	7263	5125	14,1	12,6	1,26	1,12	16,7	10,7	1,89	1,96	1,20	1,15
	0,25	7118	5764	13,9	11,8	1,23	1,07	16,7	10,5	1,96	1,96	1,22	1,11
	0,5	6874	5569	13,8	11,9	1,23	1,04	16,5	10,4	1,89	2,02	1,19	1,17
	1	7447	5042	13,7	12,1	1,23	1,11	16,6	10,4	1,90	2,00	1,21	1,16

⁽¹⁾GL = grau de liberdade (nota: GL do resíduo = 46); ⁽²⁾CV = coeficiente de variação. ⁽³⁾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, individualmente para cada fator, não diferem entre si pelo teste F para o fator G ou pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$) para o fator S.

A aplicação de PHCP influenciou as concentrações de N e K na MSPA do trigo; contudo, estes efeitos foram verificados somente nos desdobramentos das interações significativas entre os fatores estudados (Tabela 3). Assim, em 2017 a BRS Galha-Azul obteve concentração de N 11,4% superior à BRS Sanhaço, considerando unicamente o tratamento com 0 mg kg⁻¹ de PHCP nas sementes (Figura 3a). Por outro lado, na safra de 2016 a concentração de N apresentou redução em função das doses de PHCP pulverizadas nas folhas dos dois genótipos de trigo quando associadas à dose de 5 mL kg⁻¹ de PHCP nas sementes (Figura 3b). Neste contexto, somente na ausência de PHCP nas folhas foi verificada diferença entre os tratamentos com diferentes doses de PHCP nas sementes, cuja maior concentração de N foi 15,6 g kg⁻¹, devido ao uso de 5 mL kg⁻¹ de PHCP nas sementes, i.e., 20,9% superior ao tratamento controle (sem PHCP).

A concentração de K na MSPA foi linearmente reduzida pelas doses de PHCP pulverizadas nas folhas da BRS Sanhaço em 2017, com decréscimos de até 11,2% (Figura 3c). No entanto, a BRS Galha-Azul não foi afetada por esta pulverização. Portanto, esta combinação de resultados proporcionou um decréscimo de 15,9% na concentração de K na BRS Sanhaço em relação a BRS Galha-Azul, entretanto, considerando somente os tratamentos que receberam a maior dose (1 L ha⁻¹) de PHCP nas folhas.

O acúmulo (em kg ha⁻¹) de N, P, K, Ca e Mg na MSPA das plantas de trigo não foi influenciado pela aplicação do PHCP (Tabela 4). O fator genótipo foi o único que favoreceu a absorção destes nutrientes (exceto N) pela BRS Galha-Azul, que obteve acréscimos de 15,7% no acúmulo de P e 20,1% de K na safra de 2016; e acréscimos de 36,7% de Ca e 22,2% de Mg considerando a média das duas safras.

A eficiência de utilização (EU) de nutrientes também não foi modificada pela administração do PHCP nas sementes e nas folhas de trigo, com exceção do N (Tabela 5). Neste caso, somente na safra de 2017 a EUN aumentou em resposta às doses de PHCP pulverizadas nas folhas, alcançando o máximo de 49,8 g² mg⁻¹ m⁻² (i.e., acréscimo de 21,2%) na dose de 0,25 L ha⁻¹ (Figura 3d). Quando avaliado o fator genótipo a BRS Galha-Azul foi favorecida com um acréscimo de 19,6% na EUN na safra de 2016; porém, sua EUCa foi 11% inferior (considerando a média das duas safras) quando comparada à BRS Sanhaço (Tabela 5).

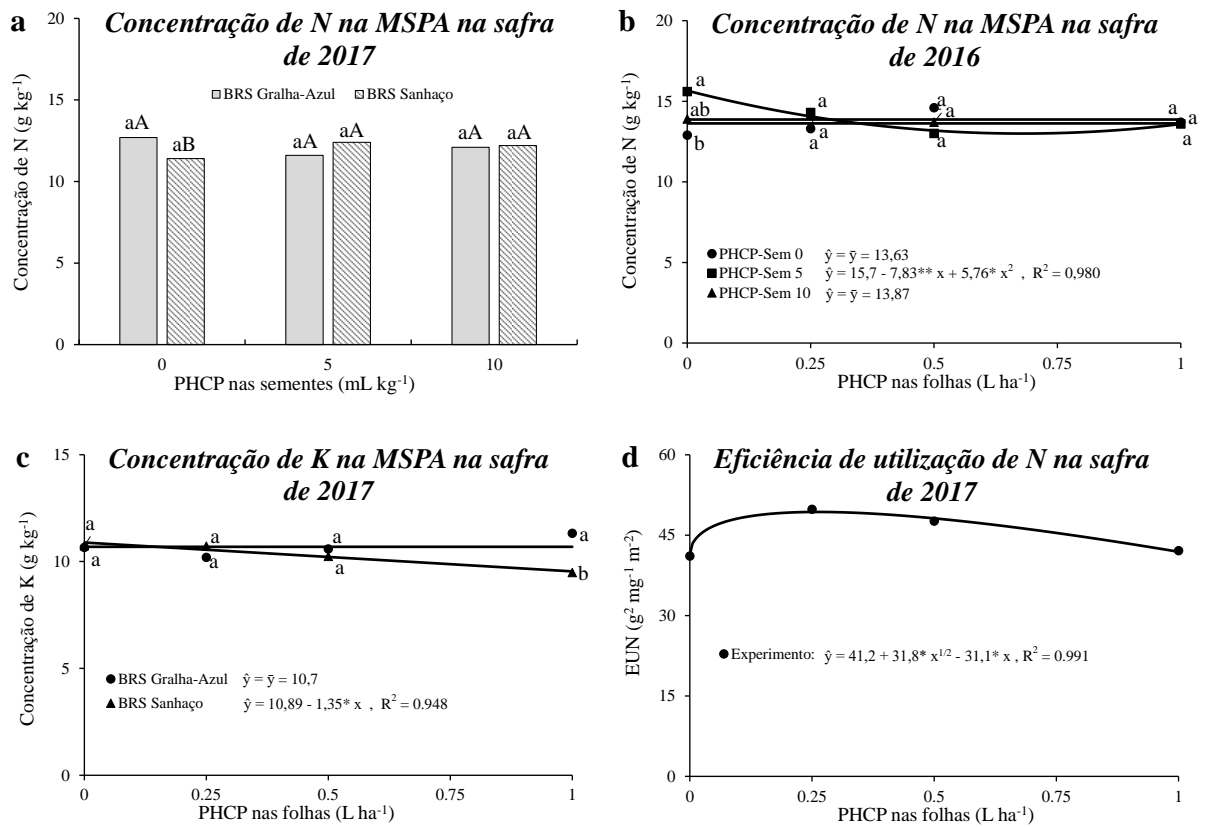


Figura 3. Desdobramento da análise de variância (ANOVA) para concentrações de nitrogênio (N; gráficos "a" e "b") e de potássio (K; gráfico "c") na matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas no estágio de florescimento; e eficiência de utilização de N (gráfico "d") de dois genótipos de trigo (BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados em Londrina (PR) nas safras de 2016 e 2017, em função de doses de promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) aplicadas nas sementes (0, 5 e 10 mL kg^{-1}) e/ou nas (0; 0,25; 0,5 e 1 L ha^{-1}). No gráfico "a", colunas comparando doses de PHCP nas sementes (individualmente para cada genótipo de trigo) seguidas por mesma letra minúscula; ou comparando genótipos (individualmente para cada dose de PHCP) seguidas de mesma letra maiúscula, não diferem pelo teste t ($P \geq 0,01$) ou pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$), respectivamente. No gráfico "b", letras minúsculas iguais (individualmente para cada dose de PHCP aplicado nas folhas) indicam que os tratamentos com PHCP aplicados nas sementes são iguais (Tukey, $P \geq 0,05$). No gráfico "c", letras minúsculas iguais (individualmente para cada dose de PHCP aplicado nas folhas) indicam que os tratamentos com os genótipos de trigo são iguais (teste t, $P \geq 0,01$).

Tabela 4. Significância (*P*-value) da análise de variância dos efeitos principais [genótipo, doses de promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) nas sementes ou nas folhas] e de suas interações; e médias de conteúdo de nitrogênio (CN), fósforo (CP), potássio (CK), cálcio (CCa) e magnésio (CMg) na matéria seca da parte aérea de plantas de trigo, cultivado em Londrina (PR) nas safras de 2016 e 2017.

Fonte de variação	GL ⁽¹⁾	CN		CP		CK		CCa		CMg	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Bloco	2	*(3)	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Genótipo (G)	1	ns	ns	**	ns	***	ns	***	***	***	**
PHCP-Sem (S)	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PHCP-Folha (F)	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
G x S	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
G x F	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S x F	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
G x S x F	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%) ⁽²⁾		20,5	24,7	24,4	27,3	21,3	23,6	22,6	24,7	21,4	24,1

Fator	Tratamento	CN (kg ha ⁻¹)		CP (kg ha ⁻¹)		CK (kg ha ⁻¹)		CCa (kg ha ⁻¹)		CMg (kg ha ⁻¹)	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Genótipo	BRS Gralha-Azul	103,2	67,4	9,56 a	6,12	130,2 a	59,1	16,2 a	12,1 a	9,61 a	6,70 a
	BRS Sanhaço	95,4	62,4	8,26 b	5,56	108,4 b	53,6	11,4 b	9,3 b	7,71 b	5,64 b
PHCP-Sem (mL kg ⁻¹)	0	98,9	63,4	8,67	5,59	118,1	56,4	13,9	10,6	8,71	6,00
	5	101,4	65,3	9,12	6,01	120,9	56,9	14,0	10,9	8,76	6,36
	10	97,5	66,1	8,94	5,91	118,8	55,8	13,5	10,7	8,50	6,15
PHCP-Folha (L ha ⁻¹)	0	102,7	64,8	9,17	5,60	121,1	54,6	13,9	10,0	8,78	5,93
	0,25	98,5	67,9	8,69	6,26	118,1	60,0	14,0	11,4	8,68	6,41
	0,5	94,3	66,0	8,48	5,82	113,7	58,5	13,1	11,3	8,18	6,50
	1	101,6	61,0	9,30	5,68	124,2	52,4	14,3	10,2	8,98	5,84

⁽¹⁾GL = graus de liberdade (nota: GL do resíduo = 46); ⁽²⁾CV = coeficiente de variação. ⁽³⁾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, individualmente para cada fator, não diferem entre si pelo teste F para o fator G ou pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$) para o fator S.

Tabela 5. Significância (*P*-value) da análise de variância dos efeitos principais [genótipo, doses de promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) nas sementes ou nas folhas] e de suas interações; e médias de eficiências de utilização de nitrogênio (EUN), fósforo (EUP), potássio (EUK), cálcio (EUCa) e magnésio (EUMg) para produção de matéria seca aérea de plantas de trigo, cultivado em Londrina (PR) nas safras de 2016 e 2017.

Fonte de variação	GL ⁽¹⁾	EUN		EUP		EUK		EUCa		EUMg	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Bloco	2	ns ⁽³⁾	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Genótipo (G)	1	**	ns	ns	ns	ns	ns	*	**	ns	ns
PHCP-Sem (S)	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PHCP-Folha (F)	3	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
G x S	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
G x F	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S x F	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
G x S x F	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%) ⁽²⁾		24,2	23,4	24,8	26,2	21,4	24,7	21,3	21,0	21,0	22,0

Fator	Tratamento	EUN (g ² mg ⁻¹ m ⁻²)		EUP (g ² mg ⁻¹ m ⁻²)		EUK (g ² mg ⁻¹ m ⁻²)		EUCa (g ² mg ⁻¹ m ⁻²)		EUMg (g ² mg ⁻¹ m ⁻²)	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Genótipo	BRS Gralha-Azul	57,3 a	46,3	619,7	541,8	44,9	52,8	362,2 b	256,6 b	608,7	463,5
	BRS Sanhaço	47,9 b	44,0	556,6	530,9	42,0	51,6	399,3 a	295,6 a	591,2	484,9
PHCP-Sem (mL kg ⁻¹)	0	53,9	43,9	614,0	540,0	44,9	49,4	385,1	269,4	608,6	464,9
	5	51,0	46,4	568,7	542,2	42,5	53,5	370,4	279,0	589,4	473,1
	10	52,9	45,2	581,8	526,8	43,0	53,7	386,7	279,9	601,7	484,7
PHCP-Folha (L ha ⁻¹)	0	52,5	41,1	589,3	506,9	43,9	48,6	388,1	267,0	605,6	449,0
	0,25	51,9	49,8	591,6	584,4	43,1	56,4	369,5	299,1	590,0	522,5
	0,5	50,9	47,6	565,0	572,8	41,9	54,0	371,5	281,6	582,9	481,5
	1	55,1	42,1	606,7	481,2	44,9	49,7	393,8	256,6	621,2	443,8

⁽¹⁾GL = graus de liberdade (nota: GL do resíduo = 46); ⁽²⁾CV = coeficiente de variação. ⁽³⁾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, individualmente para cada fator, não diferem entre si pelo teste F para o fator G ou pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$) para o fator S.

4.4. DISCUSSÃO

As descobertas deste estudo demonstram os efeitos do PHCP sobre componentes de rendimento, nutrição mineral e rendimento de grãos de genótipos de trigo, considerando a influência de diferentes condições ambientais. Estes resultados revelam uma ampla diversidade de interações entre fatores—geralmente presentes nas propriedades rurais—que influenciaram diretamente a eficiência agrônômica do PHCP. Assim, a discussão dos resultados enfoca estas interações, destacando os efeitos associados provenientes de material genético, modo de aplicação do PHCP e condições meteorológicas durante as safras agrícolas.

Assim, a discussão deste estudo está organizada em quatro perspectivas interconectadas. Primeiro será apresentada a interação genótipo \times ambiente ($G \times A$), independente da ação do PHCP. Em segundo lugar demonstramos como o ambiente influenciou a interação genótipo \times PHCP. Posteriormente discutimos sobre a interação entre os dois métodos de aplicação de PHCP e como ela pode ser alterada pelas condições ambientais. Finalmente, associamos nossas descobertas ao manejo agrônômico do PHCP e sugerimos direções para pesquisas futuras.

4.4.1. Interação genótipo \times ambiente independente do PHCP

As condições ambientais exercem influência determinante sobre a expressão de materiais genéticos de trigo, que possuem características agrônômicas e nutricionais com diferentes níveis de estabilidade quando submetidas às mudanças de temperatura, disponibilidade de água e de nutrientes, dentre outros (OVENDEN et al., 2017; PEREIRA et al., 2019). No presente trabalho, algumas características do trigo tiveram alta estabilidade, não apresentando interação $G \times A$: densidade de plantas férteis, concentração de P na MSPA, conteúdo total de P absorvido pela planta, e eficiências de utilização de P, K e Mg. Outras características da planta apresentaram um consistente padrão de resposta ao tipo de material genético, independentemente das mudanças no ambiente. Deste modo, a BRS Gralha-Azul foi mais eficiente em absorver Ca e Mg. Isto pode ser atribuído ao seu sistema radicular mais desenvolvido, favorecendo a aquisição destes nutrientes transportados no solo principalmente pelo mecanismo de fluxo de massa (OLIVEIRA et al., 2010). Por sua vez, a BRS Sanhaço apresentou maior EUCa, refletindo sua maior eficiência metabólica para utilizar o Ca absorvido pela planta para produção de MSPA.

Outros atributos da planta apresentaram maior responsividade à interação $G \times A$. Em relação ao rendimento de grãos de trigo, BRS Sanhaço foi mais tolerante ao déficit hídrico

(safra de 2017), ao passo que BRS Gralha-Azul expressou melhor seu potencial produtivo em condições de maior disponibilidade de água no solo (safra de 2016). No estado do Paraná (onde o experimento foi estabelecido), geralmente os genótipos de trigo mais tolerantes ao déficit hídrico são justamente aqueles mais tolerantes ao Al^{3+} tóxico do subsolo (profundidade > 20 cm), o que permite seu desenvolvimento radicular em maior volume de solo, melhorando a absorção de água em períodos críticos de estiagem (TANG et al., 2002; CAIRES et al. 2008). Por outro lado, o maior rendimento de grãos da BRS Gralha-Azul (na condição de melhor oferta hídrica) provem de sua maior EUN e melhor eficiência de absorção de nutrientes, considerando que ela apresentou maiores concentrações de K, Ca e Mg e conteúdos de P, K, Ca e Mg na biomassa aérea, que certamente contribuíram para sua superior MSPA e rendimento de grãos. Outra característica genética expressada pela BRS Sanhaço (BASSOI et al., 2017) foi sua maior tolerância ao acamamento de plantas em relação à BRS Gralha-Azul (BASSOI e FOLONI, 2015) sob condição de melhor oferta hídrica (safra de 2016), mesmo apresentando maior concentração de N na MSPA, que são dois fatores (i.e., elevada disponibilidade de água e de N) que fortemente predispõem as plantas de trigo a perder a capacidade de sustentar seu próprio peso (SHAH et al., 2017; ZHANG et al., 2017).

4.4.2. Interação genótipo × PHCP influenciada pelo ambiente

Na condição de maior déficit hídrico (safra 2017) o genótipo BRS Sanhaço apresentou maior concentração de N na MSPA do que a BRS Gralha-Azul; porém, esta vantagem ficou restrita aos tratamentos com ausência de PHCP nas sementes. Por outro lado, nas mesmas condições ambientais, a concentração de K foi reduzida linearmente pela aplicação de PHCP nas folhas da BRS Sanhaço, sem qualquer influência sobre a BRS Gralha-Azul. Portanto, o efeito do PHCP sobre a nutrição nitrogenada e potássica do trigo foi predominantemente nulo ou negativo. Até onde é de nosso conhecimento, este é o primeiro relato sobre os efeitos negativos de PHCP pulverizado nas folhas sobre a nutrição potássica do trigo. Os mecanismos envolvidos neste processo inibitório necessitam ser melhor investigados, principalmente a nível de absorção radicular de íons K^+ .

4.4.3. Interação entre métodos de aplicação de PHCP influenciada pelo ambiente

Considerando ambos genótipos de trigo, houve efeitos significativos da aplicação de PHCP sobre a nutrição nitrogenada e peso hectolétrico, contudo, somente no ambiente com melhor disponibilidade hídrica (safra de 2016). Neste contexto, a pulverização de PHCP nas folhas proporcionou efeitos deletérios sobre a concentração de N na MSPA e sobre o peso hectolétrico. Contudo, este efeito ocorreu somente quando houve aplicação combinada de 5 mL kg⁻¹ de PHCP nas sementes (por ocasião da semeadura do trigo). Por outro lado, a aplicação exclusiva de PHCP nas sementes proporcionou aumento do peso hectolétrico e da concentração de N. Neste contexto, Sakakibara et al. (2006) relatou que a KIN (um componente do PHCP) é um hormônio mediador da absorção, transporte e assimilação de N pela planta, assim, ele pode aumentar a concentração de N no tecido vegetal. A análise conjunta destes resultados evidencia um antagonismo entre os dois métodos de aplicação de PHCP, ou seja, os efeitos favoráveis do tratamento de sementes com PHCP foram neutralizados pela aplicação do produto nas folhas no estágio de perfilhamento.

A EUN foi positivamente influenciada por doses intermediárias de PHCP pulverizado nas folhas do trigo na safra de 2017 (com maior déficit hídrico). Neste caso, considerando que a eficiência de utilização se refere à proporção de MSPA produzida por unidade de nutriente absorvido, verifica-se pela análise destes valores (Tabelas 2 e 3) que os maiores valores de EUN ocorreram devido a um aumento de MSPA proporcionalmente maior do que o aumento da concentração de N. Miceli et al. (2019) encontram resultados semelhantes com a aplicação exógena de GA₃ em alface e rúcula, obtendo aumentos de 27,1 e 30,7% da EUN, respectivamente. Esses pesquisadores relataram que o GA₃ afeta o metabolismo do N (e.g., atividade da redutase do nitrato) e a redistribuição do N nas plantas, aumentando a NUE.

Finalmente, todos esses efeitos provenientes da aplicação de PHCP não proporcionaram mudanças no rendimento de grãos de ambos genótipos de trigo. Além disso, as demais características agrônômicas e nutricionais também não foram alteradas pelo uso do PHCP.

4.4.4. Manejo agrônômico do PHCP e direcionamento para pesquisas futuras

Baseado na discussão prévia, algumas aplicações práticas podem ser extraídas dos resultados obtidos, visando direcionar pesquisas complementares e auxiliar os agricultores no manejo agrônômico do produto hormonal: i) ainda é preciso validar os efeitos do PHCP para maior amplitude de situações, considerando diferentes materiais genéticos, doses e técnicas de

aplicação do PHCP, condições climáticas distintas, dentre outros; ii) o estágio fenológico indicado para a pulverização do PHCP nas folhas deve ser melhor investigado e adequadamente ajustado; iii) há possibilidade de antagonismo pela aplicação combinada de PHCP no tratamento de sementes e na pulverização foliar; iv) é imprescindível a realização de estudos sobre os efeitos do PHCP sobre o crescimento radicular, enfocando a aquisição de água e nutrientes; v) deve-se avaliar a viabilidade econômica do uso do PHCP, considerando um maior conjunto de resultados obtidos em ensaios de campo sob diferentes condições ambientais.

4.5. CONCLUSÕES

O PHCP influencia algumas características agrônômicas das plantas de trigo, a eficiência de utilização e a absorção de nutrientes, principalmente de N. Porém, esses efeitos não se revertem necessariamente em mudanças no rendimento de grãos.

Além disso, a diversidade de interações entre materiais genéticos, técnicas de aplicação do PHCP e condições ambientais resultam em um inconsistente padrão de resposta da planta ao PHCP. Portanto, isto dificulta a utilização assertiva do produto pelo tricultor.

4.6. REFERÊNCIAS

ABDOLI, M.; SAEIDI M., JALALI-HONARMAND, S.; AZHAND, M. The effect of foliar application of indole-3-acetic acid (IAA) and roles of ear photosynthesis on grain yield production of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) under post anthesis water deficit. **International Research Journal of Applied and Basic Sciences**, Raipur, v. 4, p. 1406–1413.

BÁEZ-PÉREZ, A.; GONZÁLEZ-MOLINA, L.; MOYA, E. S.; BAUTISTA-CRUZ, A.; BERNAL-ALARCÓN, M. A. Effect of the application of indole-3-butyric acid in production and quality of wheat (*Triticum estivum* L.). **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, Ciudad de México, v. 6, p. 523–537, 2015.

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

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

BASSOI, M. C.; RIEDE, C. R.; CAMPOS, L. A. C.; FOLONI, J. S. S.; NASCIMENTO JUNIOR, A.; ARRUDA, K. M.; SILVA, S. R. **Cultivares de trigo e triticale BRS e IPR – Embrapa e Iapar**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 68 p.

CAI T.; XU H.; PENG, D.; YIN, Y.; YANG, W.; NI, Y.; CHEN, X.; XU C., YANG D.; CUI, Z.; WANG, Z. Exogenous hormonal application improves grain yield of wheat by optimizing tiller productivity. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 155, p. 172–183, 2014.

CAI, T.; MENG, X.; LIU, X.; LIU, T.; WANG, H.; JIA, Z.; YANG, D.; REN, X. Exogenous hormonal application regulates the occurrence of wheat tillers by changing endogenous hormones. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 9, p. 1886–1895, 2018.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J. C. L.. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, p. 57–64, 2008.

CATO, S. C.; MACEDO, W. R.; PERES, L. E. P.; CASTRO, P. R. C. Sinergism among auxins, gibberellins and cytokinins in tomato cv. Micro-Tom. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 31, p. 549–553, 2013.

COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE. **Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2017**. 10. ed. SILVA, S. R.; BASSOI, M. C.; FOLONI, J. S. S. (Eds.). Londrina: Embrapa Soja, 2017. 240 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica das safras – Trigo**. Brasília: Conab, 2020a.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Trigo – Análise mensal – Junho/2020**. Brasília: Conab, 2020b. 6 p.

CRUZ, C.D. Genes – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 35, p. 271–276, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi adaptadas às regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2009. 12p.

EUCLYDES, R. F. **Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas)**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1983. 59 p.

IQBAL, M; ASHRAF, M. Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 86, p. 76–85, 2013.

MICELI, A.; MONCADA, A.; SABATINO, L; VETRANO, F. Effect of gibberellic acid on growth, yield, and quality of leaf lettuce and rocket grown in a floating system. **Agronomy**, Basel, v. 9, n. 7, 382, 2019.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA. **Estadísticas agrícolas, por cultivos, campañas, provincias y departamentos**. Buenos Aires: MAGYP, 2020.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 562–564, 1982.

NAGAR, S.; RAMAKRISHNAN, S.; SINGH, V. P.; SINGH, G. P.; DHAKAR, R.; UMESH, D. K.; ARORA, A. Cytokinin enhanced biomass and yield in wheat by improving N-metabolism under water limited environment. **Indian Journal of Plant Physiology**, New York, v. 20, p. 31–38, 2015.

OLIVEIRA, E. M. M.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ-V, V. H.; FERREIRA, P. A.; COSTA, F. A.; ALMEIDA, I. C. C. Nutrient supply by mass flow and diffusion to maize plants in response to soil aggregate size and water potential. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 34, p. 317–327, 2010.

OLIVEIRA NETO, A. A.; SANTOS, C. M. R. (Org.). **A cultura do trigo**. Brasília: Conab, 2017. 218 p.

OVENDEN, B.; MILGATE, A.; LISLE, C.; WADE, L. J.; REBETZKE, G. J.; HOLLAND, J. B. Selection for water-soluble carbohydrate accumulation and investigation of genetic X environment interactions in an elite wheat breeding population. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 130, p. 2445–2461, 2017.

KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde [Outline of climate science]**. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 388 p.

PEREIRA, J. F.; CUNHA, G. R.; MORESCO, E. R. Improved drought tolerance in wheat is required to unlock the production potential of the Brazilian Cerrado. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 19, p. 217–225, 2019.

SAKAKIBARA, H.; TAKEI, K.; HIROSE, N. Interactions between nitrogen and cytokinin in the regulation of metabolism and development. **Trends in Plant Science**, London, v. 11, p. 440–448, 2006.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353 p.

SHAH, A. N.; TANVEER, M.; REHMAN, A. U.; ANJUM, S. A.; IQBAL, J.; AHMAD, R. Lodging stress in cereal—effects and management: an overview. **Environmental Science and Pollution Research**, New York, v. 24, p. 5222–5237, 2017.

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**, London, v. 4, p. 289–302, 1981.

SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SILVA, S. R.; PIRES, J. L. F. Response of ‘BRS Guamirim’ wheat to the application of *Azospirillum*, nitrogen and growth-promoting substances. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, p. 631–638, 2017.

SILVA, S. R.; MARTINS, G. Z. Plântulas de trigo afetadas por um promotor hormonal de crescimento vegetal. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 11, p. e4769119975, 2020.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. 12. ed. Washington: USDA-Natural Resources Conservation Service, 2014. 360 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TANG, C.; RENGEL, Z.; ABRECHT, D.; TENNANT, D. Aluminium-tolerant wheat uses more water and yields higher than aluminium-sensitive one on a sandy soil with subsurface acidity. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 78, p. 93–103, 2002.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology – Laboratory of Climatology, 1955. 104 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Crop Production 2019 Summary (January 2020)**. Washington: USDA, National Agricultural Statistics Service, 2020. 122 p.

WIETHÖLTER, S. Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: Pires, J. L. F.; Vargas, L.; Cunha, G. R. (Eds.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: 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**, Hoboken, v. 14, p. 415–421, 1974.

ZHANG, M.; WANG, H.; YI, Y.; DING, J.; ZHU, M.; LI, C.; GUO, W.; FENG, C. ZHU, X. Effect of nitrogen levels and nitrogen ratios on lodging resistance and yield potential of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **PLoS ONE**, San Francisco, v. 12, n. 11, p. 1–17, 2017.

ZHENG, C.; ZHU, Y.; WANG, C.; GUO, T. Wheat grain yield in response to pre-anthesis foliar application of 6-Benzylaminopurine is dependent on floret development. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 11, 2016.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O PHCP aplicado em sementes atrasa o crescimento inicial das raízes e a expansão da área foliar. Porém, este efeito inibitório é revertido com o avanço da idade das plântulas de trigo. Portanto, sob condições climáticas desfavoráveis (déficit hídrico e alta temperatura) o estabelecimento inicial do estande de plantas da lavoura pode ser prejudicado.

Existe uma interação interespecífica genótipo \times PHCP quanto ao desenvolvimento inicial da área foliar das plântulas. Deste modo, é recomendado a avaliação simultânea de diferentes cultivares de trigo—em ensaios científicos ou operacionais—sobre os efeitos do PHCP no crescimento inicial das plântulas.

A aplicação combinada de PHCP nas sementes e depois nas folhas das plântulas de trigo ocasiona um efeito antagônico, com sistemática redução do crescimento de raízes. Portanto, esta prática deve ser evitada pelo agricultor, de modo a prevenir atrasos no estabelecimento e desuniformidade do estande de plantas na lavoura.

O PHCP apresenta efeitos positivos e negativos sobre características agronômicas e nutricionais de plantas de trigo cultivadas em condições de campo. Porém, esses efeitos não se reverteram em mudanças no rendimento de grãos. Deste modo, há evidências de que a utilização do PHCP pode ser desnecessária.

Existe uma diversidade de interações entre materiais genéticos, técnicas de aplicação do PHCP e condições ambientais durante o desenvolvimento da lavoura de trigo que podem resultar em um inconsistente padrão de resposta da planta à aplicação do produto. Portanto, isto dificulta a utilização assertiva do PHCP pelo tricultor.

Pesquisa adicional é necessária para expandir a geração de resultados para outras cultivares de trigo. Além disso, recomenda-se a condução de experimentos em condições de campo até o final do ciclo da cultura, de modo a avaliar os impactos do PHCP sobre o rendimento de grãos, o que subsidiará os tricultores no processo de tomada de decisão.

À luz dos resultados obtidos, este estudo mostrou que os agricultores podem economizar recursos financeiros por meio da não utilização de PHCP na cultura do trigo, aumentando, pois, a rentabilidade do empreendimento agrícola.

6. ANEXO A

Este anexo apresenta informações complementares solicitadas pela Comissão Examinadora em 19/02/2021 sobre o Capítulo A "Plântulas de trigo afetadas por um promotor hormonal de crescimento vegetal" publicado na íntegra em 22/11/2020 na forma de artigo científico na revista Research, Society and Development, volume 9, número 11, e4769119975, 2020. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9975>.

6.1. FIGURAS ADICIONAIS

Na Figura 2 do Capítulo A foi apresentada uma foto com crescimento de plântulas aos 2 dias após a semeadura (DAS). Abaixo incluímos os resultados aos 4, 6 e 8 DAS.

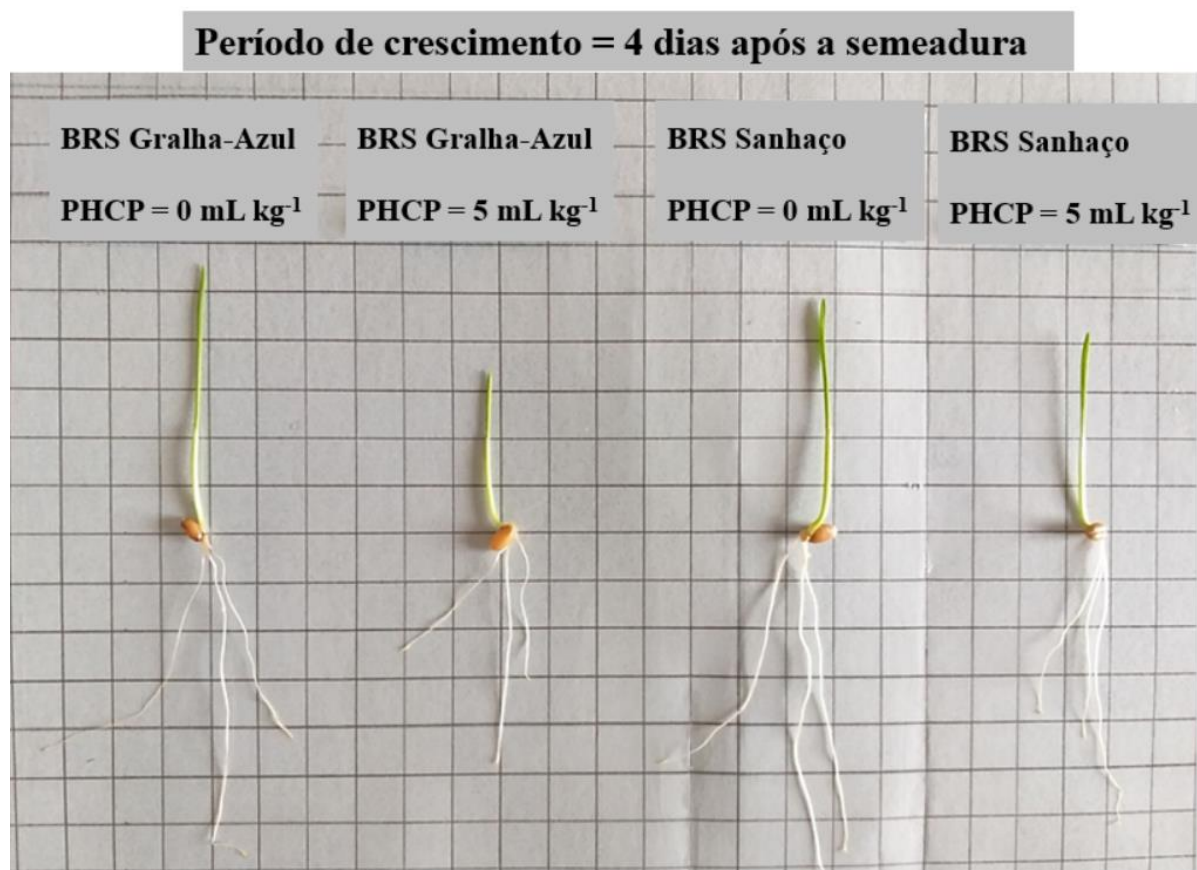


Figura A1: Plântulas de dois genótipos de trigo (BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados em papel de germinação (Germitest[®]), aos 4 dias após a semeadura, em resposta a duas doses (0 e 5 mL kg⁻¹) de um promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) aplicado nas sementes. Fonte: Sérgio Ricardo Silva.

Período de crescimento = 6 dias após a semeadura



Figura A2: Plântulas de dois genótipos de trigo (BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados em papel de germinação (Germitest[®]), aos 6 dias após a semeadura, em resposta a duas doses (0 e 5 mL kg⁻¹) de um promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) aplicado nas sementes. Fonte: Sérgio Ricardo Silva.

Período de crescimento = 8 dias após a semeadura

BRS Gralha-Azul	BRS Gralha-Azul	BRS Sanhaço	BRS Sanhaço
PHCP = 0 mL kg ⁻¹	PHCP = 5 mL kg ⁻¹	PHCP = 0 mL kg ⁻¹	PHCP = 5 mL kg ⁻¹



Figura A3: Plântulas de dois genótipos de trigo (BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço) cultivados em papel de germinação (Germitest[®]), aos 8 dias após a semeadura, em resposta a duas doses (0 e 5 mL kg⁻¹) de um promotor hormonal de crescimento de plantas (PHCP) aplicado nas sementes. Fonte: Sérgio Ricardo Silva.

6.2. CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Genótipo: é a parte da composição genética de uma célula e, portanto, de qualquer indivíduo, que determina uma de suas características. O termo foi cunhado pelo botânico dinamarquês, fisiologista e geneticista Wilhelm Johannsen em 1903 (Wikipédia). Em termos agronômicos, o genótipo se refere a um grupo de características específicas de uma população, utilizado comercialmente pelos agricultores.

Fenótipo: são as características observáveis ou caracteres de um organismo ou população, como: morfologia, desenvolvimento, propriedades bioquímicas ou fisiológicas e comportamento. O fenótipo resulta da expressão dos genes do organismo, da influência de fatores ambientais e da possível interação entre os dois (Wikipédia).

Cultivar: é a designação dada a determinada forma de uma planta cultivada, correspondendo a um determinado genótipo e fenótipo que foi selecionado e recebeu um nome único e devidamente registado com base nas suas características produtivas, decorativas ou outras que o tornem interessante para cultivo. O cultivar deve apresentar em cultura, e manter durante o processo de propagação, um conjunto único de características que o distingam de maneira coerente de plantas semelhantes da mesma espécie. O termo foi criado pelo especialista em horticultura Liberty Hyde Bailey, que o derivou das palavras inglesas "cultivated" e "variety", "cultivado" e "variedade" (do latim: *varietas culta*), significando estritamente "variedade cultivada" de uma espécie vegetal (Wikipédia).

Condicionamento osmótico em sementes: técnica proposta inicialmente por Heydecker et al. (1975), que envolve o controle da hidratação das sementes, em tempo suficiente para permitir que os processos preparatórios essenciais à germinação ocorram sem que haja protrusão da radícula. Em seguida, as sementes podem ser desidratadas (para o grau de umidade inicial) O condicionamento osmótico permite o desdobramento de reservas e a síntese de metabólitos necessários à germinação, fazendo com que ocorra uma germinação mais rápida das sementes, diminuindo o seu tempo de exposição às condições desfavoráveis, tais como ataques por microrganismos e deficiência hídrica, dentre outras (Marcos Filho, 2015).

Alelos Rht do nanismo × giberelina: a estatura é considerada um carácter controlado por genes maiores, simbolizados por Rht (reduction height), que são denominados genes de nanismo. Estes genes foram identificados inicialmente na variedade de trigo japonesa 'Norin 10', introduzida nos Estados Unidos em 1946 (GALE et al., 1981). Cultivares com genes de nanismo apresentam comprimento do colmo reduzido, o que é causado pela interrupção na biossíntese do ácido giberélico ou na transdução do sinal do ácido giberélico

(WOJCIECHOWSKI et al., 2009). Neste contexto, os alelos Rht causam redução na resposta à giberelina, pois agem como um regulador negativo da sinalização a esse hormônio e a giberelina reage reprimindo sua função (HEDDEN, 2003). Além disso, esses alelos têm efeito pleitrópico no crescimento das plantas, ou seja, multiplicidade de efeitos fenotípicos, causando redução no comprimento do coleóptilo e área foliar da plântula (ELLIS et al., 2005). Dessa forma, apesar de a giberelina ser conhecida como hormônio da alongação do caule, e conseqüente incremento da altura, ela também influencia diferentes processos fisiológicos como florescimento, desenvolvimento das flores e frutificação, pois está envolvida no crescimento dos filamentos e na deiscência das anteras, e assim contribui para a formação de importantes indicadores de produção do trigo, como o número de perfilhos e de espigas por planta (HIGASHI et al., 2002).

6.3. REFERÊNCIAS

ELLIS, M. H. et al. Molecular mapping of gibberellin-responsive dwarfing genes in bread wheat. **Theoretical and Applied Genetic**, Berlin, v. 111, n. 3, p. 423–430, 2005.

GALE, M. J. D.; MARSHALL, G. A.; RAO, M. V. A. Classification of the "Norin 10" and "Tom Thumb" dwarfing genes in British, Mexican, Indian and other hexaploid bread wheat varieties. **Euphytica**, Wageningen, v. 30, p. 355–361, 1981.

HEDDEN, P. The genes of the Green Revolution. **Trends in Genetics**, Cambridge, v. 19, n. 1, p. 5-9, 2003.

HEYDECKER, W.; HIGGINS, J.; TURNER, I.J. Invigoration of seeds? **Seed Science and Technology**, Basserdorf, v. 3, p. 881–888, 1975.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GOUVÊA, C F.; BASSO, L. H. Ação fisiológica de hormônios vegetais na condição hídrica, metabolismo e nutrição mineral. In: CASTRO, P. R. C.; SENA, J. O. A.; KLUGE, R. A. **Introdução à fisiologia do desenvolvimento vegetal**. Maringá: Eduem, cap. 9, p. 139-158, 2002.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed., Londrina: ABRATES, 2015. 660 p.

WOJCIECHOWSKI, T.; GOODING, M.J.; RAMSAY, L.; GREGORY, P.J.; The effects of dwarfing genes on seedling root growth of wheat. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 9, p. 2565–2573, 2009.