



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

ANA PAULA SILVA COUTO

**APLICAÇÃO DE TRINEXAPAQUE-ETÍLICO NAS FASES  
REPRODUTIVA E DE MATURAÇÃO DO TRIGO:  
GERMINAÇÃO PRÉ-COLHEITA,  
QUALIDADE DE GRÃOS E DE SEMENTES**

ANA PAULA SILVA COUTO

**APLICAÇÃO DE TRINEXAPAQUE-ETÍLICO NAS FASES  
REPRODUTIVA E DE MATURAÇÃO DO TRIGO:  
GERMINAÇÃO PRÉ-COLHEITA,  
QUALIDADE DE GRÃOS E DE SEMENTES**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Inês C. de B. Fonseca  
Co-Orientadora: Dra. Juliana Sawada Buratto

Londrina  
2024

ANA PAULA SILVA COUTO

**APLICAÇÃO DE TRINEXAPAQUE-ETÍLICO NAS FASES  
REPRODUTIVA E DE MATURAÇÃO DO TRIGO:  
GERMINAÇÃO PRÉ-COLHEITA,  
QUALIDADE DE GRÃOS E DE SEMENTES**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Inês C. de B. Fonseca  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

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

---

Prof. Dr. André Sampaio Ferreira  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. André Mateus Prando  
Pesquisador da Embrapa Soja

---

Prof. Dra. Nádia Graciele Krohn  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
- UTFPR

Londrina, 30 de Agosto de 2024.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Aos meus pais Amilton e Geuva, e familiares, pelo amor incondicional e incentivos, vocês são meu exemplo de vida e o apoio de vocês foi fundamental para que essa etapa fosse possível de ser concluída.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina – UEL, pela oportunidade, ensino e estrutura.

Ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná), pela parceria para condução dos experimentos e todo apoio recebido.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro para condução do trabalho.

Aos Laboratórios de Análise de Sementes e de Tecnologia de Alimentos da UEL e do IDR-Paraná, pela estrutura e viabilização do trabalho.

À minha orientadora Profa. Dra. Inês Cristina B. Fonseca, e ao Prof. Dr. Claudemir Zucareli, pela dedicação e contribuição na realização do trabalho.

À minha co-orientadora, Dra. Juliana Sawada Buratto, pelo tempo dedicado a mim e à condução do presente trabalho. Seu apoio, paciência e valiosos ensinamentos foram fundamentais ao longo de todos esses anos.

Aos colaboradores, pesquisadores, pós-graduandos e estagiários do IDR-Paraná, que também se tornaram grandes amigos, Patrícia, Paulo, Vilmar, Anderson, Stela, Igor, Edson, Carlos, Cíntia, Julieny, Bianca, Vitor, Gabriel, Camilly, Rhany, João, Guilherme, entre outros que me ajudaram em diferentes momentos desta jornada.

Aos amigos que tornaram essa caminhada mais leve e foram uma nova família em uma nova cidade, Vinicius, Aline, Mariane, Laura, Gabriel, Hugo, Julianna, Kauê, Bruno, e tantos outros que são especiais em minha vida.

À banca examinadora pelas contribuições, sugestões de melhoria e ensinamentos repassados.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

COUTO, Ana Paula Silva. **Aplicação de trinexapaque-etílico nas fases reprodutiva e de maturação do trigo: germinação pré-colheita, qualidade de grãos e de sementes**. 2024. 80 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

## RESUMO

Dentre as técnicas de manejos utilizadas na cultura do trigo visando alta produtividade está o uso de reguladores vegetais com efeito redutor de crescimento, aplicados no estágio de alongamento do colmo para redução de altura e evitar o acamamento das plantas. Entretanto, necessita-se de mais informações a respeito de sua aplicação em épocas mais tardias. Dessa forma, objetivou-se avaliar a influência de épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico (TE) em características agrônômicas, germinação pré-colheita, qualidade de grãos e sementes em cultivares de trigo. Na safra de 2021 e 2022 foram conduzidos dois experimentos simultâneos com duas cultivares de trigo contrastantes quanto a suscetibilidade à germinação em pré-colheita, IPR Panaty (moderadamente suscetível) e IPR Potyporã (moderadamente resistente). Para cada cultivar, o delineamento foi de blocos casualizados, em esquema fatorial  $4 \times 4 + 1$ , com três repetições, sendo quatro doses de TE (50, 100, 150 e 200 g i.a. ha<sup>-1</sup>), aplicadas em quatro épocas (E1: entre o 1º nó visível e o 2º nó perceptível; E2: espigamento; E3: grão em estado aquoso; E4: fim do estado de grão leitoso); e o controle (sem aplicação de TE). Foram avaliados: número de dias da emergência ao espigamento, altura de plantas, número de espigas por m<sup>2</sup>, número de grãos por espiga, acamamento de plantas, produtividade de grãos, germinação na espiga, massa de mil grãos, peso hectolítrico e número de queda sem e após os efeitos da chuva simulada. Além disso, avaliou-se a qualidade fisiológica das sementes colhidas pelos testes de germinação, envelhecimento acelerado, emergência de plântulas em areia, comprimento e massa de plântulas. As condições climáticas diferentes em cada safra resultaram em resultados variáveis. O TE reduziu a altura das plantas na época E1, com maior eficácia conforme aumento das doses, entretanto, caso a área seja destinada a produção de sementes deve ser utilizado com cautela em doses maiores que a recomendada pelo fabricante do produto, pois influencia negativamente na germinação e vigor das sementes. A cultivar IPR Panaty demonstrou ser mais suscetível ao acamamento de plantas e redução da qualidade dos grãos que a IPR Potyporã, não sendo possível definir uma melhor época ou dose de aplicação visando redução da GE. Para a cultivar IPR Potyporã, na safra 2022, entre as épocas E2, E3 e E4 estudadas, a época E4 foi a que apresentou maior potencial a ser explorado na minimização de perdas da qualidade tecnológica de grãos de trigo, com reflexos positivos na germinação na espiga, número de queda e produtividade de grãos e qualidade fisiológica de sementes.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L.; fitoreguladores; redutor de crescimento; germinação na espiga; vigor.

COUTO, Ana Paula Silva. **Application of trinexapaque-ethyl in the reproductive and maturation phases of wheat: pre-harvest germination, grain and seed quality.** 2024. 91 p. Thesis (Doctorate in Agronomy) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

## ABSTRACT

Among the management techniques used in wheat crops aiming at high productivity is the use of plant growth regulators with a growth-reducing effect, applied at the stalk elongation stage to reduce height and prevent plant lodging. However, more information is needed regarding their application at later times. Thus, the aim of this study was to evaluate the influence of times and doses of trinexapaque-ethyl (TE) application on agronomic characteristics, pre-harvest germination, grain and seed quality in wheat cultivars. In the 2021 and 2022 harvests, two simultaneous experiments were conducted with two wheat cultivars that contrasted in terms of susceptibility to pre-harvest germination, IPR Panaty (moderately susceptible) and IPR Potyporã (moderately resistant). For each cultivar, a randomized block design was used, in a 4 x 4 + 1 factorial scheme, with three replicates, with four TE doses (50, 100, 150 and 200 g a.i. ha<sup>-1</sup>), applied at four times (E1: between the 1<sup>st</sup> visible node and the 2<sup>nd</sup> perceptible node; E2: earing; E3: grain in aqueous state; E4: end of milky grain state); and control (without TE application). The following were evaluated: number of days from emergence to earing, plant height, number of spikes per m<sup>2</sup>, number of grains per spike, plant lodging, grain yield, germination on the spike, thousand-grain weight, hectoliter weight and number of drops without and after the effects of simulated rainfall. In addition, the physiological quality of the harvested seeds was evaluated by germination tests, accelerated aging, seedling emergence in sand, seedling length and mass. The different climatic conditions in each harvest resulted in variable results. TE reduced plant height in the E1 season, with greater efficacy as the doses increased. However, if the area is intended for seed production, it should be used with caution in doses higher than those recommended by the product manufacturer, as it negatively influences seed germination and vigor. The IPR Panaty cultivar proved to be more susceptible to plant lodging and reduced grain quality than IPR Potyporã, and it is not possible to define a better time or application dose aiming at reducing GE. For the IPR Potyporã cultivar, in the 2022 harvest, among the E2, E3 and E4 periods studied, the E4 period was the one that presented the greatest potential to be explored in minimizing losses in the technological quality of wheat grains, with positive effects on germination in the ear, number of grain drops and productivity and physiological quality of seeds.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L.; phytohormones; growth reducer; germination on the ear; force.

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> - Principais estádios de desenvolvimento da planta de trigo de acordo com a escala de Zadoks <i>et al.</i> (1974). .....                                                                                                                                                                        | 23 |
| <b>Tabela 2</b> - Características químicas do solo na profundidade de 0-20 cm. Safra 2021 e 2022, Londrina - PR. ....                                                                                                                                                                                           | 52 |
| <b>Tabela 3</b> - Significância (p-valor) da análise de variância para características agrônômicas e dos componentes de produção nas cultivares de trigo IPR Panaty e IPR Potyporã em resposta a doses e épocas de aplicação de trinexapaque-etílico. Safras 2021 e 2022, Londrina, PR. ....                    | 57 |
| <b>Tabela 4</b> - Características fisiológicas, componentes produtivos e de qualidade de grãos avaliadas nas cultivares de trigo IPR Panaty e IPR Potyporã em resposta às épocas de aplicação de trinexapaque-etílico. Safras 2021 e 2022, Londrina - PR. ..                                                    | 60 |
| <b>Tabela 5</b> - Significância (p-valor) da análise de variância para as características de germinação na espiga e qualidade de grãos, avaliadas nas cultivares de trigo IPR Panaty e IPR Potyporã, em resposta a doses e épocas de aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina – PR, Safras 2021 e 2022. .... | 64 |
| <b>Tabela 6</b> - Significância (p-valor) dos componentes de vigor e germinação avaliados nas cultivares de trigo IPR Panaty e IPR Potyporã em resposta a épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico. Safra 2022, Londrina – PR. ....                                                                  | 79 |
| <b>Tabela 7</b> - Comprimento e massa seca de plântulas avaliados nas cultivares de trigo IPR Panaty e IPR Potyporã em resposta a épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico em trigo. Safra 2022, Londrina – PR. ....                                                                                 | 82 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> - Dados de precipitação pluvial, irrigação (mm dia <sup>-1</sup> ), temperatura máxima, mínima e média (°C) ocorridas durante os períodos de condução dos experimentos. Safras de 2021 e 2022, Londrina - PR. ....                                                                                                                                                                                                                                                | 51 |
| <b>Figura 2</b> - Grãos de trigo com diferentes estádios de germinação, utilizados como parâmetros visuais para considerar o grão não germinado (a) ou germinado (b, c, d, e, f). Fonte: o próprio autor. ....                                                                                                                                                                                                                                                                    | 55 |
| <b>Figura 3</b> - Número de dias da emergência ao espigamento - DEE (dias) das cultivares de trigo IPR Panaty na safra 2021 ( <b>A</b> ); e IPR Potyporã na safra 2021 ( <b>B</b> ) e 2022 ( <b>C</b> ); em resposta a épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico (g i.a. ha <sup>-1</sup> ). ....                                                                                                                                                                       | 58 |
| <b>Figura 4</b> - Altura de planta (ALT) das cultivares de trigo IPR Panaty na safra 2021 ( <b>A</b> ) e 2022 ( <b>B</b> ), e IPR Potyporã na safra 2021 ( <b>C</b> ); e acamamento de planta (ACA) da cultivar IPR Panaty na safra 2022 ( <b>D</b> ); em resposta a épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico (g i.a. ha <sup>-1</sup> ). ....                                                                                                                         | 61 |
| <b>Figura 5</b> - Número de grãos por espiga – NGE ( <b>A</b> ) e germinação na espiga após simulação de chuva por nebulização - GE (%) ( <b>B</b> ) na safra 2022; peso hectolítrico - PH (kg hL <sup>-1</sup> ) na safra 2021 ( <b>C</b> ) e peso hectolítrico após nebulização - PHneb (kg hL <sup>-1</sup> ) na safra 2022 ( <b>D</b> ), na cultivar de trigo IPR Potyporã em resposta a épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico (g i.a. ha <sup>-1</sup> ). .... | 63 |
| <b>Figura 6</b> - Número de queda em segundos (s) obtido dos grãos das cultivares de trigo IPR Panaty ( <b>A</b> ) e IPR Potyporã ( <b>B</b> ) em resposta a épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico. Safras 2021 e 2022, Londrina - PR. ....                                                                                                                                                                                                                         | 66 |
| <b>Figura 7</b> - Dados de precipitação pluvial, irrigação (mm dia <sup>-1</sup> ), temperatura máxima, mínima e média (°C) ocorridas durante o período de condução do experimento. Safra 2022, Londrina - PR. ....                                                                                                                                                                                                                                                               | 76 |
| <b>Figura 8</b> - Primeira contagem de germinação - PCG (%) ( <b>A</b> ) e Germinação (%) ( <b>B</b> ) da cultivar de trigo IPR Potyporã em resposta a épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico (g i.a. ha <sup>-1</sup> ). Safra de 2022, Londrina - PR. ....                                                                                                                                                                                                         | 80 |
| <b>Figura 9</b> - Comprimento da raiz primária da plântula (cm) ( <b>A</b> ) e Comprimento total da plântula (cm) ( <b>B</b> ) avaliados na cultivar de trigo IPR Panaty em resposta a doses de aplicação de trinexapaque-etílico (g i.a. ha <sup>-1</sup> ). Safra 2022, Londrina – PR. ....                                                                                                                                                                                     | 83 |



**Figura 10** - Comprimento da parte aérea (**A**), da raiz primária (**B**) e total da plântula (C) (cm), avaliados na cultivar de trigo IPR Potyporã em resposta a doses de aplicação de trinexapaque-etílico (g i.a. ha<sup>-1</sup>). Safra 2022, Londrina – PR.....84

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>                                                                                                                              | <b>19</b> |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                                                                                                                        | <b>21</b> |
| 2.1 CULTURA DO TRIGO .....                                                                                                                                   | 21        |
| 2.1.1 Aspectos Gerais e Importância da Cultura .....                                                                                                         | 21        |
| 2.1.2 Estádios de Desenvolvimento .....                                                                                                                      | 22        |
| 2.1.3 Estrutura e Composição Química das Sementes .....                                                                                                      | 25        |
| 2.2 REGULADORES DE CRESCIMENTO VEGETAL .....                                                                                                                 | 27        |
| 2.2.1 Reguladores de Crescimento Naturais .....                                                                                                              | 27        |
| 2.2.2 Reguladores de Crescimento Sintéticos .....                                                                                                            | 28        |
| 2.2.2.1 Uso do regulador de crescimento vegetal em trigo .....                                                                                               | 29        |
| 2.3 GERMINAÇÃO DE TRIGO EM PRÉ-COLHEITA .....                                                                                                                | 31        |
| 2.3.1 Fatores que Influenciam a Germinação em Pré-colheita .....                                                                                             | 32        |
| 2.3.2. Influência do trinexapaque-etílico na Germinação em Pré-colheita .....                                                                                | 35        |
| 2.4. QUALIDADE DE SEMENTES .....                                                                                                                             | 36        |
| 2.5. QUALIDADE DE GRÃOS .....                                                                                                                                | 39        |
| 2.6 REFERÊNCIAS .....                                                                                                                                        | 42        |
| <b>3. ARTIGO A - CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E GERMINAÇÃO EM PRÉ-<br/>COLHEITA DE TRIGO EM RESPOSTA A APLICAÇÃO TARDIA DE<br/>TRINEXAPAQUE-ETÍLICO .....</b> | <b>47</b> |
| 3.1 RESUMO .....                                                                                                                                             | 47        |
| 3.2 ABSTRACT .....                                                                                                                                           | 48        |
| 3.3 INTRODUÇÃO .....                                                                                                                                         | 49        |
| 3.4 MATERIAL E MÉTODOS .....                                                                                                                                 | 50        |
| 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                                                             | 56        |
| 3.6 CONCLUSÕES .....                                                                                                                                         | 68        |
| 3.7 REFERÊNCIAS .....                                                                                                                                        | 68        |

|                                                                                                                                   |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>4. ARTIGO B - POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE TRIGO EM RESPOSTA A ÉPOCAS E DOSES DE APLICAÇÃO DE TRINEXAPAQUE-ETÍLICO</b> |        |
| .....                                                                                                                             | 72     |
| 4.1 RESUMO .....                                                                                                                  | 72     |
| 4.2 ABSTRACT.....                                                                                                                 | 73     |
| 4.3 INTRODUÇÃO .....                                                                                                              | 74     |
| 4.4 MATERIAL E MÉTODOS .....                                                                                                      | 75     |
| 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                                  | 78     |
| 4.6 CONCLUSÕES .....                                                                                                              | 85     |
| 4.7 REFERÊNCIAS.....                                                                                                              | 85     |
| <br><b>5. CONCLUSÕES FINAIS</b> .....                                                                                             | <br>88 |

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O trigo (*Triticum* spp.) é um dos cereais mais antigos cultivados pelo homem em todo o mundo e, atualmente, somente o *Triticum aestivum* tem importância comercial no Brasil. Este cereal possui ampla utilização, seja na alimentação humana, servindo como fonte básica de alimento, na alimentação animal ou também na indústria, em produtos não alimentícios. Além disso, proporciona efeitos positivos em todo o sistema de produção agrícola, gerando rentabilidade ao produtor rural, bem como contribuição no sistema de semeadura direta, manejo integrado de pragas, doenças, nematoides e plantas invasoras na área de cultivo.

Para a safra de 2024 as estimativas de produção são de mais de 9 milhões de toneladas, no entanto, todos os anos o Brasil necessita de altos volumes de importação deste grão, visto que o país não é autossuficiente em sua produção. Dessa forma, o aumento da produção e produtividade dependem do uso eficiente das práticas de manejo, além do incentivo do cultivo deste cereal em áreas que ficam ociosas durante o inverno, visando assim a diminuição da dependência da produção de outros países.

Dentre os fatores que interferem no desempenho agronômico dos cereais de inverno, incluindo o trigo, está o acamamento de plantas, visto que, ao deslocar o colmo da posição vertical com possibilidade de quebramento, prejudica a formação, quantidade e qualidade das sementes/grãos produzidos, bem como eficiência de colheita. Esse problema é ocasionado por diferentes fatores, ou também pelas suas interações, como condições climáticas/ambientais do ano (chuvas, ventos e granizo), genótipo, solos de elevada fertilidade natural, adubação nitrogenada em doses elevadas e densidade de semeadura.

Para reduzir o risco do acamamento das plantas, tem-se como prática de manejo o uso de reguladores de crescimento vegetal, a exemplo o ingrediente ativo trinexapaque-etílico, o qual tem função de inibir os níveis de giberelina ativa presentes na planta, que atuam na alongação dos entrenós do colmo. Com essa redução, busca-se diminuir a altura das plantas e assim, o acamamento.

A aplicação desse ingrediente ativo é recomendada pelo fabricante para o estágio de alongamento do colmo, com o 1º nó visível, e dose de 100 a 125 g i.a. ha<sup>-1</sup>, independente da cultivar de trigo. Além dos efeitos de redução de porte, trabalhos indicam a possibilidade de melhoria dos componentes produtivos e da produtividade

de grãos, com efeito variável, principalmente devido ao genótipo, doses do produto e ambiente de produção.

Outro problema que acomete a cultura do trigo é a germinação em pré-colheita, também chamada de germinação na espiga, sendo que as sementes germinam ainda no campo. O processo germinativo ou a dormência das sementes estão relacionados ao balanço hormonal entre os hormônios vegetais giberelina (GA) e ácido abscísico (ABA). A GA atua na indução da germinação e o ABA na regulação da dormência e inibição da germinação. Nesse sentido, ainda faltam estudos sobre o comportamento das plantas e sementes/grãos produzidos caso as aplicações do trinexapaque-etílico fossem feitas em estádios mais tardios. Por atuarem inibindo a giberelina ativa na planta, se aplicado durante os estádios de formação dessas sementes/grãos, o trinexapaque-etílico poderia alterar o equilíbrio hormonal entre a GA e o ABA, interferindo no processo de germinação na espiga e na possibilidade da redução da incidência de sementes/grãos germinados e seus efeitos negativos em sua qualidade.

Diante do exposto, objetivou-se estudar os efeitos de doses e épocas de aplicação do regulador de crescimento trinexapaque-etílico em características agronômicas, germinação na espiga em pré-colheita, qualidade tecnológica de grãos e fisiológica de sementes produzidas em cultivares de trigo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CULTURA DO TRIGO

#### 2.1.1 Aspectos Gerais e Importância da Cultura

O trigo (*Triticum* spp.) tem origem de gramíneas silvestres que se desenvolveram próximas aos rios Tigre e Eufrates, na região da Mesopotâmia (sudoeste da Ásia), entre 10.000 a 15.000 a.C., porém, os registros mais antigos datam do ano 550 a.C., sendo assim, as características da planta são conhecidas há mais de 2.000 anos (Borém; Scheeren, 2015). Isto demonstra que este cereal faz parte da história e evolução da humanidade, tendo papel relevante na alteração do sistema de vida nômade e no estabelecimento dos primeiros povoados no mundo (Mori *et al.*, 2016).

Este cereal pertence à família Poaceae e ao gênero *Triticum* (Piana; Carvalho, 2008), e suas espécies são caracterizadas conforme o número de cromossomos, podendo ser agrupadas em hexaplóides (*Triticum aestivum* e *Triticum spelta*), tetraplóides (*Triticum durum* e *Triticum dicoccon*) e diploides (*Triticum monococcum*). Dentre estas, somente o trigo duro ou trigo para macarrão (*Triticum durum*) e o trigo comum ou trigo para pão (*Triticum aestivum*) têm importância comercial atualmente (Mori *et al.*, 2016).

O trigo duro representa cerca de 10% de todo o trigo cultivado no mundo, estando em regiões moderadamente secas, incluindo a bacia do Mediterrâneo, na Austrália, na Índia, na antiga União Soviética e em áreas de baixa pluviosidade das grandes planícies dos Estados Unidos e do Canadá. O trigo comum representa 90%, tendo maior expressão de cultivo nas regiões sudoeste da Rússia e Ucrânia, planície central dos Estados Unidos e as áreas adjacentes no Canadá, noroeste da Europa, bacia do Mediterrâneo, centro-norte da China, Índia, Argentina e sudoeste da Austrália (Piana; Carvalho, 2008).

No Brasil, as áreas de cultivo de *T. aestivum* estão localizadas nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Os estados do Paraná e Rio Grande do Sul se destacam como os maiores produtores. Na safra de 2023 do Brasil foram produzidos mais de 8 milhões de toneladas, em 3,4 milhões de hectares, com produtividade média de 2.331 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2024a). Valores de produtividade inferiores aos da maior média de

7.000 kg ha<sup>-1</sup> verificada na safra de 2013 no centro-oeste no Distrito Federal (CONAB, 2024a), demonstrando o potencial produtivo da cultura no país.

No entanto, todos os anos o Brasil necessita de elevados volumes de importação, visto que o país não é considerado autossuficiente na produção deste grão. Em 2023, para atender a demanda de consumo interno de cerca de 12,5 milhões de toneladas, foi necessário a importação de 6,6 milhões de toneladas, portanto, 53% do total consumido pelo país (CONAB, 2024b). Dessa forma, a segurança alimentar do país fica sujeita às expectativas de produção de outros países, bem como de suas instabilidades políticas.

Na alimentação humana, os grãos deste cereal servem como fonte básica de alimento (Delcour; Hoskeney, 2010). São utilizados em diversos produtos na forma de farinha ou grão laminado, incluindo produtos forneados, como pães, biscoitos, bolos; na produção de massas e agente espessante em molhos, sopas, pudins, entre outros. Na alimentação animal, o trigo é consumido em pastejo direto (forragem) ou na composição de rações. Também são utilizados em produtos não alimentícios, como misturas adesivas, colas, fármacos, cosméticos e álcool (Borém; Scheeren, 2015).

Além disso, o cultivo do trigo é opção para rotação de culturas e, quando planejado, contribui no manejo integrado de pragas, doenças, nematoides e plantas invasoras, sendo assim, atua tanto na manutenção da capacidade produtiva do solo quanto na redução de custos de produção (Lamas, 2018). Diante disto, do ponto de vista agrônomo, os benefícios da triticultura vão além da lucratividade ao produtor rural, estando relacionados a efeitos positivos que, em longo prazo, geram maior ganho em todo o sistema de produção agrícola (Debiasi *et al.*, 2017).

Desta forma, entende-se a importância de se incentivar o crescimento do cultivo deste grão no país, visando diminuir a dependência do Brasil da produção de outros países e utilização de área ociosas durante o período de inverno. Para isso, tecnologias devem ser constantemente desenvolvidas e disponibilizadas ao produtor rural, levando-se em consideração diversos fatores, incluindo a genética, a fisiologia e desenvolvimento das plantas, o manejo da cultura e os ambientes de cultivo.

## 2.1.2 Estádios de Desenvolvimento

Os estádios de desenvolvimento do trigo são compreendidos na seguinte ordem cronológica: germinação, plântula, perfilhamento, alongamento do colmo,

emborrachamento, espigamento, florescimento, grãos em estado aquoso, leitoso e em massa, maturação fisiológica e de colheita. Ou seja, fase vegetativa, fase reprodutiva e fase de desenvolvimento do grão (Borém; Scheeren, 2015).

Além disso, existem escalas descritas em trabalhos científicos que nos auxiliam a compreender melhor estes estádios de desenvolvimento. As duas mais utilizadas são a de Feekes (1940), modificada por Large (1954), que descreve os estádios de forma mais geral, e a de Zadoks *et al.* (1974), que é uma das mais completas, proporcionando uma visão detalhada de cada estádio, pois está dividida em 10 fases e, cada uma, em 9 subfases, variando do código zero a 99, demonstrada de forma resumida na Tabela 1.

**Tabela 1** - Principais estádios de desenvolvimento da planta de trigo de acordo com a escala de Zadoks *et al.* (1974).

| Código   | Estádio                                  |
|----------|------------------------------------------|
| <b>0</b> | <b>Germinação</b>                        |
| 00       | Semente seca                             |
| 01       | Início da embebição                      |
| 02       | -                                        |
| 03       | Embebição completa                       |
| 04       | -                                        |
| 05       | Emergência da radícula da cariopse       |
| 06       | -                                        |
| 07       | Coleóptilo emergido                      |
| 08       | -                                        |
| 09       | Folha no ápice do coleóptilo             |
| <b>1</b> | <b>Crescimento da Plântula</b>           |
| 10       | Primeira folha através do coleóptilo     |
| -        | Primeira folha aberta                    |
| 19       | Nove ou mais folhas abertas              |
| <b>2</b> | <b>Perfilhamento</b>                     |
| 20       | Somente o colmo principal                |
| 21       | Colmo principal e um perfilho            |
| -        | -                                        |
| 29       | Colmo principal e nove ou mais perfilhos |
| <b>3</b> | <b>Alongamento do Colmo</b>              |
| 30       | Pseudocolmo ereto                        |
| 31       | Primeiro nó do colmo visível             |
| 32       | Segundo nó do colmo visível              |
| -        | -                                        |
| 39       | Lígula da folha bandeira recém-visível   |
| <b>4</b> | <b>Emborrachamento</b>                   |
| 40       | -                                        |
| 41       | Bainha da folha bandeira em extensão     |
| -        | -                                        |



|          |                                                     |
|----------|-----------------------------------------------------|
| 49       | Primeiras aristas visíveis                          |
| <b>5</b> | <b>Emergência da inflorescência</b>                 |
| 50       | Primeira espiguetta da inflorescência recém-visível |
| -        | -                                                   |
| 54       | Metade das inflorescências emergidas                |
| -        | -                                                   |
| 58       | Emergência completa da inflorescência               |
| 59       | -                                                   |
| <b>6</b> | <b>Antese (Florescimento)</b>                       |
| <b>7</b> | <b>Desenvolvimento do grão leitoso</b>              |
| 70       |                                                     |
| 71       | Cariopse aquosa                                     |
| 72       | -                                                   |
| 73       | Início do estado leitoso                            |
| 74       | -                                                   |
| 75       | Estado leitoso                                      |
| 76       | -                                                   |
| 77       | Final do estado leitoso                             |
| -        | -                                                   |
| <b>8</b> | <b>Desenvolvimento do grão em massa</b>             |
| 80       | -                                                   |
| -        | -                                                   |
| 83       | Início do estado de massa                           |
| 84       | -                                                   |
| 85       | Estado de massa mole                                |
| 86       | -                                                   |
| 87       | Estado de massa dura                                |
| -        | -                                                   |
| <b>9</b> | <b>Maturação</b>                                    |
| 90       | -                                                   |

Fonte: Zadoks *et al.* (1974)

Estas informações auxiliam na compreensão sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas de trigo e dos períodos ideais para se realizar o manejo da cultura, sendo que o manejo assertivo conforme os estádios de desenvolvimento podem refletir positivamente na produção e qualidade do produto final produzido.

Dessa forma, a fenologia da planta pode ser usada para manejos mais específicos, como em adubações de cobertura, tratamentos fitossanitários, aplicações de reguladores de crescimento, ou observações de algum evento de estresse (hídrico, geadas, etc.), associando-os aos estádios de ocorrência (Penckowski; Borsato, 2016).

### 2.1.3 Estrutura e Composição Química das Sementes

A semente de trigo é um fruto denominado de cariopse, pequeno, seco, indeiscente e com formato variável, desde sementes curtas e arredondadas até sementes estreitas e compridas (Borém; Scheeren, 2015). A superfície da semente é lisa, com exceção ao lado oposto em que se encontra o embrião, o qual possui tricomas, também chamados de barba ou pincel (Fornasieri-Filho, 2008; Krzyzanowski *et al.*, 2020).

É constituída por pericarpo, endosperma e embrião (gérmen), que correspondem por 14 a 18%, 80 a 85% e 2 a 3% da massa seca total da cariopse, respectivamente (Fornasieri-Filho, 2008). Cada parte da semente possui importante função, o pericarpo é a parede do fruto (tegumento), está localizado mais externamente, possui a função de manter unidas e proteger as estruturas internas da semente (Marcos-Filho, 2015; Pires *et al.*, 2011), tem origem da parede do ovário do fruto e dependendo da cultivar sua coloração é branca, amarela ou vermelha (Fornasieri-Filho, 2008). Além disso, o pericarpo é composto por camadas que envolvem toda a semente, incluindo a camada externa mais grossa (epicarpo), a intermediária (mesocarpo) e a interna mais fina (endocarpo). Nessas camadas do pericarpo, há proteínas, carboidratos, incluindo celulose, lipídios e cinzas (Fornasieri-Filho, 2008; Marcos-Filho, 2015).

A camada de aleurona se encontra externa ao endosperma, é formada por camada única ou múltipla de células, contém células com alto teor de proteínas e tem como função principal a digestão, atuando na secreção de enzimas hidrolíticas durante o processo de embebição das sementes em resposta à ação de giberelinas, e com isso, desdobramento de reservas necessárias para o desenvolvimento da plântula no processo de germinação. O citoplasma das células dessa camada pode conter grãos de aleurona, os quais são pequenos vacúolos que contêm fitina, proteínas e óleo ou uma mistura proteínas/amido (Marcos-Filho, 2015). Abaixo dessa camada estão as células do endosperma, o qual representa a maior parte da semente, constituídas por vários grãos de amido em uma matriz proteica, os quais são fonte de carboidratos que são redirecionados ao embrião visando a formação da plântula durante a germinação (Fornasieri-Filho, 2008; Pires *et al.*, 2011).

O embrião é composto pelas estruturas essenciais que formarão a futura planta, sendo coleóptilo, plúmula, mesocótilo, radícula, coleoriza e escutelo. Durante

a formação da plântula, o coleóptilo, formado por uma bainha, protege a plúmula em crescimento; a plúmula dá origem à parte aérea (gema apical); o mesocótilo é uma camada de tecido característica de gramíneas que se forma entre a plúmula e a radícula; a radícula representa a raiz rudimentar que origina o sistema radicular; o escutelo (cotilédone das gramíneas) protege o embrião e absorve reservas do endosperma transferindo-as ao embrião no processo de germinação (Krzyzanowski *et al.*, 2020; Marcos-Filho, 2015). Na região do embrião não há amido, mas contém elevadas quantidades de proteínas, carboidratos (sacarose e rafinose), lipídios e cinzas, além de vitaminas (E e do complexo B) e diversas enzimas (Delcour; Hosney, 2010).

As sementes contêm composição química com substâncias classificadas como componentes estruturais, materiais armazenados e produtos secundários. É relevante conhecer isso quando se tem como objetivo utilizá-las como material propagativo, fonte de alimento para o ser humano ou animais, bem como para matéria prima de ampla aplicação industrial. Esta composição varia conforme diversos fatores, incluindo genótipo (entre espécies e cultivares), posição da semente em relação à inflorescência, condições ambientais (água, temperatura), fertilidade do solo e nutrição da planta-mãe (Marcos-Filho, 2015).

As reservas da semente se encontram no endosperma e/ou no embrião, e, de modo geral, são compostas por carboidratos, proteínas e lipídios. As sementes de trigo são classificadas como amiláceas, pois sua reserva principal é o amido, um carboidrato polissacarídeo formado pela junção de vários monossacarídeos. Este amido é armazenado nas sementes na forma de amilose, digerível pela enzima beta-amilase; e amilopectina, digerível pelas enzimas alfa e beta-amilase no processo de germinação (Marcos-Filho, 2015).

As proteínas têm papel importante na composição das sementes de trigo, são macromoléculas nitrogenadas, constituídas por combinações de aminoácidos em proporções variadas. Podem ser classificadas em albuminas, globulinas, prolaminas (gliadinas) e glutelinas (glutenina) (Marcos-Filho, 2015). O teor de proteínas e sua variação estão diretamente relacionadas aos atributos que constituem a qualidade tecnológica de grãos de trigo, sendo as gliadinas e gluteninas as principais substâncias responsáveis pelas propriedades reológicas da massa de trigo (Franceschi *et al.*, 2009).

Desta forma, estes conhecimentos sobre as sementes/grãos de trigo auxiliam na tomada de decisão dos manejos para esta cultura, possibilitando a manutenção do potencial produtivo da cultura e qualitativo do produto formado.

## 2.2 REGULADORES DE CRESCIMENTO VEGETAL

### 2.2.1 Reguladores de Crescimento Naturais

Os hormônios vegetais, também chamados de reguladores de crescimento vegetal, são um grupo de substâncias orgânicas endógenas/naturais produzidos pelas plantas, que podem promover, inibir ou modificar processos fisiológicos do vegetal, incluindo os de crescimento, diferenciação e desenvolvimento da planta (Davies, 2010). Estas substâncias podem ser produzidas em uma célula ou tecido, e atuam como mensageiros químicos, modulando os processos celulares no local de síntese ou em outros locais da planta. Além disso, agem em concentrações baixíssimas, desencadeando importantes respostas fisiológicas, como promoção ou inibição de crescimento, diferenciação de órgãos, defesa contra agentes bióticos e abióticos, senescência natural e maturação das plantas (Rodrigues; Fioreze, 2015).

As rotas hormonais dessas substâncias compartilham características semelhantes, inicia-se com a percepção de sinais (entrada ambiental) ou pelo processo de desenvolvimento programado, que resultam em aumentos ou decréscimos na biossíntese de hormônios os quais são transportados para um sítio de ação. Após a percepção do hormônio pelo receptor, resulta em eventos transcricionais ou pós-transcricionais (transdução de sinal) que induzem a uma resposta fisiológica ou de desenvolvimento. Nesse sentido, existem nove grupos principais de hormônios vegetais que regulam o desenvolvimento vegetal: auxinas, giberelinas, citocininas, etileno, ácido abscísico, brassinosteroides, jasmonatos, ácido salicílico e estrigolactonas (Taiz *et al.*, 2017).

Destaca-se aqui as giberelinas, abreviadas como GA e numeradas a seguir segundo a ordem cronológica de sua descoberta, são um grupo com grande número de compostos, todos ácidos tetracíclicos (quatro anéis) diterpenoides, porém, apenas um pequeno número são bioativas, sendo principalmente a GA<sub>1</sub>, GA<sub>3</sub>, GA<sub>4</sub> e GA<sub>7</sub> (Taiz *et al.*, 2017). As GAs agem em diversos processos ligados ao desenvolvimento, como germinação, controle do meristema apical caulinar e iniciação de folhas, crescimento

do caule e alongamento celular, transição da fase juvenil para madura, determinação sexual, iniciação e desenvolvimento floral, iniciação e desenvolvimento de frutos, entre outros (Guerra; Rodrigues, 2008). Nas plantas, a GA<sub>1</sub> é uma das mais importantes, pois é a principal responsável pelo crescimento do caule devido à estimulação tanto da divisão quanto do alongamento celular (Davies, 2010), verificado para várias espécies como milho, ervilha, nabo, tomate, arroz e trigo (Guerra; Rodrigues, 2008).

As GAs são sintetizadas em diferentes partes da planta, a exemplo em sementes em desenvolvimento, sementes germinando, folhas em desenvolvimento e entrenós em alongamento. Existe forte controle genético nas rotas envolvidas na biossíntese e no catabolismo de GAs, exercendo importante papel no desenvolvimento vegetal. A rota biossintética das GAs começa nos plastídeos, a qual leva a produção de molécula contendo 20 átomos de carbono que é convertida em *ent*-caureno. Após, no retículo endoplasmático, esse composto é oxidado sequencialmente por enzimas, levando à GA<sub>12</sub>. No citosol, enzimas são capazes de oxidar GA<sub>12</sub> em todas as outras giberelinas, cujas rotas podem ser interconectadas formando uma complexa grade metabólica (Taiz *et al.*, 2017).

### 2.2.2 Reguladores de Crescimento Sintéticos

Existem também os reguladores vegetais sintéticos, compostos por substâncias sintéticas similares aos grupos de hormônios vegetais endógenos; podem promover, inibir ou modificar os processos fisiológicos, porém, ao contrário dos endógenos, atuam por meio de aplicação exógena (Davies, 2010). Além disso, existe também o termo biorreguladores para estes compostos. Os produtos mais comumente utilizados são à base de giberelinas ou mais de um grupo hormonal, como auxinas, giberelinas e citocininas (Rodrigues; Fioreze, 2015).

A giberelina GA<sub>3</sub>, também chamada de ácido giberélico, é um exemplo de giberelina que pode ser utilizada comercialmente para aplicação agrônoma. Estudos mostraram que sua aplicação via pulverização em videira induziu o crescimento em uvas, produzindo frutos maiores e alongamento dos pedicelos (pedúnculo dos frutos). Os efeitos da GA<sub>3</sub> aplicada de forma exógena também foram verificados em milho do tipo selvagem, resultando em alongamento expressivo do caule (Taiz *et al.*, 2017).

### 2.2.2.1 Uso do regulador de crescimento vegetal em trigo

Com relação as práticas de manejo existentes para cereais de inverno, é crescente o uso de reguladores de crescimento na agricultura. Dentre os produtos registrados no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), na classe reguladores de crescimento e inibidores de crescimento, estão os que contêm os ingredientes ativos trinexapaque-etílico para aplicação em trigo e cevada (MAXAPAC 250 EC CIPRIAN®, MELIUS®, MODDUS®, MODDUS NEO®, MYRIM®, TRIPLEX® e TRIX 250®), destes somente o MODDUS® também possui liberação para a aveia branca; e a prohexadiona cálcica para aplicação em trigo, triticale, aveia, cevada, centeio e outras culturas frutíferas (VIVIVUL SC®).

Os efeitos e benefícios da utilização do regulador de crescimento trinexapaque-etílico são dependentes de variados fatores, como época e dose de aplicação; genótipo/cultivar; estágio de desenvolvimento fenológico, nutricional e/ou fitossanitário da cultura e condições ambientais.

A aplicação exógena dos produtos classificados como reguladores de crescimento a base de trinexapaque-etílico tem como principal finalidade a redução da altura das plantas, e com isso, dos riscos de acamamento (CBPTT, 2022). Dos produtos citados anteriormente, a bula dos que são a base de trinexapaque-etílico informa que estes agem inibindo a  $3\beta$ hidroxilação de GA<sub>20</sub> a GA<sub>1</sub> na biossíntese do hormônio giberelina. Sendo assim, ocorre redução do nível de giberelina a qual leva ao não alongamento do colmo das plantas, resultando no retardo do seu crescimento.

Porém, outros efeitos benéficos também podem ser observados, a depender da cultivar, manejo da cultura e clima; incluindo efeito no nível de espessamento dos tecidos da base da planta com aumento no diâmetro do colmo e espessura de suas paredes, aumentando assim a resistência ao acamamento; interferência na inclinação das folhas, deixando-as mais eretas, podendo resultar em melhor aproveitamento da radiação luminosa; aumento no teor de nitrogênio na folha bandeira; e com isso, resultados em ganhos de produtividade (Borsato *et al.*, 2021; Penckowski; Borsato, 2016).

Vale ressaltar a importância de uma correta amostragem das plantas para identificação correta de seu estágio fenológico, as quais devem ser representativas da área destinada a aplicação. A identificação do estágio de desenvolvimento deve ser feita no colmo principal, e não nos perfilhos. Além disso, deve-se ter o cuidado de

não confundir o nó basal com o primeiro nó verdadeiro da planta, sendo que de maneira geral a planta de trigo possui três nós e a contagem destes é realizada no sentido da raiz para a espiga (Penckowski; Borsato, 2016).

De forma geral, os produtos citados anteriormente são recomendados para aplicação no estágio de alongamento do colmo, quando as plantas estiverem com o 1º nó do colmo visível e aproximadamente 25 a 35 cm de altura, visando a redução da altura das plantas, fortalecimento dos entrenós e redução do risco de acamamento. A bula desses produtos contém a recomendação de 100 a 125 g de trinexapaque- $\text{etílico ha}^{-1}$ , correspondendo a 400 a 500 mL  $\text{ha}^{-1}$ . Porém, ressaltam que em lavouras que receberam aplicação de elevadas doses de nitrogênio necessita-se da aplicação de doses maiores do produto, ou seja, próximo do limite superior recomendado.

No entanto, essa recomendação da dose não leva em conta fatores mais específicos que podem influenciar nos resultados finais, como características do genótipo quanto à susceptibilidade ao acamamento e altura de planta, nível de tecnologia disponível, manejo da cultura, tipo de solo, dose de nitrogênio utilizada, população de plantas estabelecida, condições ambientais e época de aplicação (Borsato *et al.*, 2021). Sendo assim, para um manejo cada vez mais assertivo é importante considerar todos esses fatores ao se determinar a dose a ser utilizada, de acordo com a cultura e também conforme o genótipo.

Adicionalmente, ainda faltam estudos sobre a aplicação de reguladores vegetais em estádios de desenvolvimento da planta mais tardios dos que geralmente são usados, posteriores ao alongamento do colmo, os quais apresentam potencial para serem explorados para solucionar outros entraves na produção agrícola do trigo, incluindo a maior tolerância à germinação em pré-colheita.

Com relação ao acamamento de plantas, este caracteriza-se pelo deslocamento do colmo da posição vertical, atingindo o ponto máximo quando as plantas se encontram completamente prostradas sobre a superfície do solo. Além do trigo, traz prejuízos em outros cereais de inverno, como na aveia (CBPA, 2021) e cevada (Swoish *et al.*, 2021), pois prejudica a qualidade, quantidade e eficiência de colheita das sementes/grãos produzidos. A gravidade do acamamento depende da intensidade e do estágio de desenvolvimento da planta em que ocorre, sendo mais prejudicial quando acontece nas fases reprodutivas, durante a formação ou maturação das sementes.

A ocorrência do acamamento das plantas está relacionada a fatores isolados ou pelas suas interações. A exemplo estão as características de suscetibilidade ao acamamento do genótipo, no qual cultivares de porte maior estão mais propensas a acamarem. No entanto, além da altura, também deve ser considerada as condições ambientais do ano, incluindo chuva, irrigação, ventos e granizo, sendo que a incidência e intensidade de chuvas e ventos são os principais; densidade de semeadura; solos de elevada fertilidade natural ou devido a doses elevadas de adubação nitrogenada (CBPA, 2021; CBPTT, 2022; Rodrigues; Fioreze, 2015).

Um dos temas mais pesquisados sobre a incidência do acamamento é o uso de doses elevadas de adubos nitrogenados em diferentes cultivares, visto que resultam em aumento da altura das plantas. Relacionado a isso, trabalhos avaliaram a associação desses adubos com o regulador de crescimento trinexapaque-etílico, aplicados no estágio de alongamento do colmo do trigo (Nunes *et al.*, 2016; Penckowski *et al.*, 2009; Stefen *et al.*, 2014; Zagonel; Fernandes, 2002).

### 2.3 GERMINAÇÃO DE TRIGO EM PRÉ-COLHEITA

Diversos mecanismos controlam o processo de germinação e dormência das sementes, incluindo a atuação de hormônios vegetais, como a giberelina (GA) e o ácido abscísico (ABA). Nas sementes, a GA atua na indução da germinação e o ABA na regulação da dormência e inibição da germinação. Desta forma, o balanço hormonal entre GA:ABA determinam qual processo ocorrerá, ou seja, germinação ou dormência (Miransari; Smith, 2014; Taiz *et al.*, 2017). A atuação desses hormônios nas sementes é dependente da quantidade de cada hormônio nos tecidos-alvo e da capacidade dos mesmos para identificar e responder a cada hormônio (Taiz *et al.*, 2017).

Nas primeiras etapas de desenvolvimento da semente a sensibilidade ao ABA é alta e a sensibilidade à GA é baixa, o que contribui para que ocorra a dormência ao invés da germinação. Porém, nas etapas seguintes a esse desenvolvimento, a sensibilidade ao ABA reduz e a sensibilidade à GA aumenta, favorecendo a germinação. Além disso, nesse processo a semente torna-se mais sensível aos estímulos do ambiente, incluindo temperatura e luz, às quais podem tanto estimular quando inibir a germinação (Taiz *et al.*, 2017).



Com relação ao processo de germinação de sementes de trigo, estas necessitam de disponibilidade de água e temperatura adequada. A luz e as condições de fertilidade do solo não possuem relevância, pois as reservas presentes nas sementes suprem as necessidades para o crescimento inicial, até o aparecimento da primeira folha verde (Pires *et al.*, 2011). Quando ocorre ainda na planta-mãe, inicia-se pela interceptação da água da chuva pelas estruturas vegetativas da espiga de trigo, e posterior transferência de água para as sementes (Mares; Mrya, 2014). Após a embebição (absorção de água), inicia-se na semente uma série de mecanismos em que ocorrem alterações morfológicas e fisiológicas que culminam na reativação do metabolismo do embrião. No início, ocorre aumento da atividade das GAs, superando a dormência que havia sido induzida pelo ABA, com isso, há síntese e produção de amilases, com destaque para as  $\alpha$ -amilases, que atuam disponibilizando energia, proteínas, lipídios e nutrientes presentes nas reservas da semente para o embrião se desenvolver, culminando com a germinação (Miransari; Smith, 2014).

O ideal seria que esse processo de germinação se iniciasse apenas no solo. No entanto, há casos em que ocorre o início da germinação após a maturação fisiológica da semente ainda na planta-mãe. Este fenômeno é denominado de “germinação em pré-colheita”, de “germinação na espiga” ou mencionado na literatura internacional como “*pre-harvest sprouting* (PHS)” (Barnard; Smith, 2009; Taiz *et al.*, 2017). É um problema que ocorre em cereais como aveia, trigo, cevada e arroz, o qual reduz a qualidade da semente/grão e resulta em perdas econômicas (Bazzo *et al.*, 2019; Taiz *et al.*, 2017).

### 2.3.1 Fatores que Influenciam a Germinação em Pré-colheita

A susceptibilidade à germinação de trigo em pré-colheita é determinada principalmente por fatores genéticos, incluindo fisiológicos, bioquímicos e morfológicos, a exemplo genes que atuam na regulação da dormência; na atividade de hormônios vegetais como giberelina e ácido abscísico, em seu controle da atividade da enzima alfa-amilase que atuam no processo de germinação; na coloração do tegumento das sementes. Embora existam trigos vermelhos suscetíveis a germinação, geralmente as sementes com cor vermelha são mais resistentes do que as com cor branca. E também relacionados a estrutura morfológica da espiga, que influencia na absorção de água e em quanto tempo permanecem molhadas. Assim

como condições climáticas/ambientais, a exemplo temperatura e precipitação pluvial durante o desenvolvimento das sementes e velocidade de secagem das mesmas (Barnard; Smith, 2009; Kumar *et al.*, 2015; Mares; Mrya, 2014; Mori *et al.*, 2016). Autores também relatam a possibilidade de que grãos com o sintoma de ponta preta tendem a ser mais suscetíveis a germinação do que grãos sadios (Mares; Mrya, 2014). Estes fatores podem atuar de forma isolada ou sinergicamente.

A dormência das sementes é uma característica complexa, sendo governada por vários genes que podem se expressar de forma variável conforme as condições ambientais. Soma-se a isto o fato de não ser interessante que essa dormência seja muito baixa ou alta, pois, pode ocorrer a germinação em pré-colheita quando for muito baixa, ou retardar o processo germinativo após a semeadura se for muito alta, sendo importante o desenvolvimento de genótipos de trigo que apresentem grau equilibrado de dormência de sementes (Kumar *et al.*, 2015).

Com relação ao fator genético e condições ambientais, Barnard; Smith (2009) estudaram 18 cultivares de trigo produzidas em três locais na África do Sul durante quatro anos, investigando como o clima atuaria em diferentes estádios de desenvolvimento do grão e sua influência na expressão de dormência ou germinação em pré-colheita. Esses autores verificaram que houve alta interação entre cultivar x ano x região, sendo que o efeito do ambiente (12%) foi menor em relação ao da cultivar (37,6%), e apenas 6,6% foi constatado para a interação cultivar x ambiente. Também foi verificada alta variabilidade genética entre as cultivares, classificadas desde suscetíveis a altamente resistentes (com alta dormência) a germinação em pré-colheita, sendo que algumas foram mais sensíveis aos efeitos ambientais do que outras, nesse caso, a germinação da cultivar foi variável conforme o ambiente de cada região e o ano de cultivo. Além disso, temperaturas mínimas mais altas durante o enchimento de grãos foram associadas a valores mais altos de germinação em pré-colheita, indicando menor resistência à germinação, independente da cultivar (Barnard; Smith, 2009).

No Brasil, esse problema que afeta a qualidade das sementes/grãos de trigo ocorre frequentemente na região sul do país, principalmente nas áreas mais quentes nas quais as temperaturas elevadas diminuem a dormência das sementes e, quando associadas a chuvas no período de colheita, resultam no início do processo germinativo ainda na espiga (Mori *et al.*, 2016). Outros autores também relatam que temperaturas mais altas durante a maturação resultam em maior susceptibilidade a

germinação na espiga, quando a cultura não está sob estresse de falta de umidade (Mares; Mrya, 2014), ou seja, a associação de umidade e temperaturas altas nos períodos próximo a colheita favorecem a germinação na espiga. Conforme o registro nacional de cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), as cultivares de trigo brasileiras são classificadas como moderadamente suscetíveis, suscetíveis, moderadamente resistentes e resistentes (CBPTT, 2022).

A duração e a intensidade das precipitações e as condições ambientais após a sua ocorrência influenciam na intensidade e ocorrência da germinação em pré-colheita (Mares; Mrya, 2014). Acredita-se que cerca de 10 a 15 mm de chuva sejam o mínimo para iniciar a germinação, porém, isto depende da intensidade da precipitação, pois caso ocorra ao longo de várias horas é possível que mais água seja capturada pela espiga do que se fosse por curto período. Também deve-se considerar que as condições ambientais após as precipitações podem atuar no ganho ou perda de umidade (secagem) das sementes presentes na espiga. De forma geral, em genótipos suscetíveis, se os grãos permanecerem úmidos por dois dias, inicia-se o processo de germinação. Além disso, estima-se que mais de 15 a 20 mm de chuva 10 a 20 dias anteriores à maturidade de colheita, possam resultar em pouca ou nenhuma germinação, porém, podem predispor a cultura a ser mais suscetível a chuvas posteriores (Mares; Mrya, 2014).

Existem diferentes formas de se estudar a susceptibilidade à germinação de trigo em pré-colheita, a exemplo após simulação de chuva por nebulização em ambiente controlado, por meio da avaliação visual da porcentagem de grãos germinados (Guarienti *et al.*, 2017; Kumar *et al.*, 2015; Mares; Mrya, 2014). Além disso, pela avaliação da atividade da enzima alfa-amilase medida pelo teste de número de queda (NQ), usada como referência internacional para recebimento e comércio de grãos de trigo, na qual baixo valor de NQ é indicativo de elevada atividade dessa enzima e alto valor de baixa atividade (Mares; Mrya, 2014; Mori *et al.*, 2016).

Nesse sentido, destaca-se a importância de se buscar formas de se atenuar os problemas decorrentes da germinação de trigo em pré-colheita. Além dos intensos esforços dos programas de melhoramento genético de trigo na busca por cultivares resistentes, existem práticas de manejo que também podem ser utilizadas, como escolha de cultivares com resistência genética ao problema e escalonamento da época de semeadura, com isso, busca-se melhor organização do período de colheita definindo as áreas preferenciais para se iniciar a colheita. A exemplo, iniciando pelos

materiais mais suscetíveis ou antecipando a colheita caso tenham previsões de chuvas (CBPTT, 2022; Mori *et al.*, 2016). Ainda assim, é relevante a pesquisa de novas práticas de manejo que investiguem formas de reduzir este problema, para com isso, proporcionar maior segurança de qualidade de produção de sementes/grãos e rentabilidade a todo o setor tritícola.

### 2.3.2. Influência do trinexapaque-etílico na Germinação em Pré-colheita

São escassas as informações sobre o comportamento das plantas e das sementes/grãos formados se as aplicações do regulador de crescimento trinexapaque-etílico fossem feitas em estádios mais tardios. Dessa forma, visto que o processo germinativo é regulado pelos hormônios vegetais giberelina (GA) e ácido abscísico (ABA), e que os produtos à base do ingrediente ativo trinexapaque-etílico atuam inibindo a biossíntese de giberelina; se estes fossem aplicados em estádios mais tardios do que geralmente são aplicados, durante a formação das sementes, poderiam atuar reduzindo os níveis de giberelina ativa presentes nas plantas e nas sementes em formação. Desta forma, alterariam o equilíbrio hormonal, a composição das sementes/grãos e, com isso, reduziria a possibilidade de germinação na espiga ainda na planta-mãe.

Na cultura do milho, a germinação das sementes aderidas na espiga pode ser reduzida parcialmente com a aplicação exógena de ABA. Além disso, a germinação precoce em milho necessita da síntese precoce de GA na embriogênese como um sinal positivo, sendo que mutantes duplos deficientes em GA não apresentam essa germinação precoce. Sendo assim, isto corrobora que a razão GA:ABA é o que determina a germinação, e não a quantidade de ABA (Taiz *et al.*, 2017).

Tonatto (2017) avaliou doses de trinexapaque-etílico (zero, 50, 100, 200 e 400 g ha<sup>-1</sup>), épocas de aplicação (Z77 - final do estado leitoso, Z83 - início do estado de massa e Z91 - cariopse dura) e seus efeitos na germinação de cultivares de trigo em condições de casa de vegetação. O método empregado para isso foi adaptado das Regras para Análise de Sementes (MAPA, 2009b), no qual as espigas foram colhidas no estágio de Z92, debulhadas e as sementes obtidas colocadas em caixas de poliestireno com papel do tipo germitest umedecido com água destilada, e acondicionadas em câmara de germinação a 24°C e 100% de umidade por oito dias, visando simular as condições de germinação em pré-colheita. No referido estudo

constatou-se que conforme houve aumento das doses de trinexapaque-etílico aplicadas nos estádios Z77 e Z83, foi observado comportamento linear decrescente da germinação, sendo que o estádio Z77 demonstrou ser 19% mais responsivo que o Z83 para a cultivar de trigo Taurum. Acima deste estádio, em Z91, essa eficiência reduziu, visto que não há mais translocação de solutos para os grãos, desta forma, o efeito do ingrediente ativo do produto sobre a germinação das sementes foi reduzido. Ainda neste trabalho, verificou-se que a eficiência da aplicação de reguladores de crescimento varia conforme a susceptibilidade à germinação em pré-colheita que os diferentes genótipos de trigo apresentam.

Diante do exposto, verifica-se a necessidade de melhor investigação sobre os efeitos que os reguladores de crescimento poderiam ter quando aplicados em estádios mais tardios na cultura do trigo, como seus efeitos na germinação em pré-colheita, a qual reflete negativamente na qualidade das sementes e tecnológica dos grãos.

#### 2.4. QUALIDADE DE SEMENTES

A qualidade das sementes está relacionada a quatro atributos, os quais são representados pela soma das qualidades genética, física, fisiológica e sanitária. O conjunto dessas características determinam o valor para a semeadura ou o potencial de desempenho a campo de um lote de sementes (Mugnol; Eichelberger, 2008; Krzyzanowski *et al.*, 2020). A interpretação correta dessas qualidades deve ser feita considerando a interação do conjunto desses fatores, pois os atributos isolados não podem definir a qualidade da semente. Portanto, apresentam importância equivalente, ou seja, todos os atributos possuem papel relevante na obtenção de sementes de qualidade (Krzyzanowski *et al.*, 2020).

A qualidade genética é caracterizada pela pureza genética (varietal), que define o ciclo, estatura e estrutura da planta, resistência a estresses bióticos e abióticos, potencial de produtividade, qualidade tecnológica, entre outros. Está relacionada às características que são buscadas em programas de melhoramento genético de plantas, porém, cabe ao processo da produção das sementes a manutenção desses atributos da cultivar, conforme o que foi obtido pelo programa de melhoramento que a desenvolveu (Pires *et al.*, 2011), para com isso, a cultivar expressar todos os seus atributos de qualidade agrônômica (Krzyzanowski *et al.*, 2018).

A qualidade física é compreendida pela pureza física do lote e condição física da semente. A pureza é analisada em laboratório pela análise de pureza, na qual são separados, identificados e determinada a massa de todos os materiais que compõem uma amostra, que deve ser coletada de forma a ser representativa do lote de sementes. As frações separadas nessa análise são caracterizadas como sementes puras, material inerte e outras sementes. Também pode ser feita a determinação de outras sementes por número, separando-as em sementes de outras espécies cultivadas, sementes silvestres e sementes nocivas (proibidas e toleradas) (MAPA, 2009b; MAPA, 2013). A condição física da semente refere-se a sementes que sejam íntegras fisicamente, está relacionada ao grau de umidade, tamanho, cor, formato, densidade, danos mecânicos e causados por insetos (Mugnol; Eichelberger, 2008). Todas essas informações contribuem na identificação da qualidade física de um lote de sementes.

A qualidade fisiológica está relacionada à germinação e vigor das sementes. A germinação é avaliada em laboratório por meio de teste com metodologia padronizada conforme cada espécie, proporcionando condições ideais de temperatura, umidade e substrato. Nesse teste de germinação é avaliado o potencial máximo de germinação de um lote de sementes, ou seja, avalia a capacidade da semente em dar origem a uma planta normal sob condições favoráveis de campo. Para que uma plântula de trigo seja considerada apta a continuar o seu desenvolvimento até tornar-se uma planta normal, esta precisa ter todas as estruturas essenciais (sistema radicular, parte aérea e coleóptilo), havendo critérios para definição de anormalidades que caracterizem a plântula como anormal, ou seja, que não demonstre potencial para continuar o seu desenvolvimento e dar origem a uma planta normal, mesmo em condições favoráveis. Além disso, nesse teste há possibilidade de identificar a ocorrência de dormência e ação de microrganismos (Krzyzanowski *et al.*, 2020; MAPA, 2009b).

Existem também os testes que avaliam o vigor das sementes, que representa as propriedades ou características da semente que determinam o potencial para a uma emergência rápida e uniforme, e o desenvolvimento de plântulas normais, em diferentes condições ambientais. Em laboratório é determinado por meio da avaliação da resposta das sementes submetidas a condições de estresse, a exemplo em testes de frio, envelhecimento acelerado, deterioração controlada; ou pelo seu estado metabólico atual, por meio da medição do comprimento de plântulas ou de uma de

suas partes, da massa seca de plântulas, teste de tetrazólio ou condutividade elétrica, complementando as informações obtidas pelo teste de germinação (Krzyzanowski *et al.*, 2020).

A qualidade sanitária refere-se a presença fungos, insetos, bactérias, vírus e nematoides, visto que as sementes podem abrigar e transportar microrganismos ou agentes patogênicos. Os fungos representam o maior número de espécies associadas às sementes, seguidas pelas bactérias, vírus e nematoides (MAPA, 2009b).

A produção de sementes e grãos utilizam tecnologias semelhantes, porém, no caso da produção de sementes, além da qualidade genética, física, fisiológica e sanitária, existe também o fator legal, o qual define padrões para produção e comercialização de sementes de forma legalizada e que devem ser seguidos conforme cada categoria de sementes, a exemplo a genética, básica, as categorias certificadas de primeira e segunda geração (C1 e C2) e as sementes não certificadas de primeira e segunda geração (S1 e S2). Para o trigo tem-se como base a Instrução Normativa nº 45 do MAPA, a qual define o peso máximo do lote, o peso mínimo das amostras, prazo máximo para solicitação da inscrição de campos, parâmetros de campo (para vistorias, rotação, isolamento, número de plantas atípicas e de plantas de outras espécies) e de semente (pureza, determinação de outras sementes por número, porcentagem mínima de germinação, validade em meses do teste de germinação e validade em meses da reanálise do teste de germinação) (MAPA, 2013).

Além disso, diferentes fatores influenciam na produção de sementes de qualidade, como escolha da região de cultivo, que proporcione condições ambientais favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da cultura (Ludwig, 2016) e atenção ao histórico da área, visando evitar contaminações de área cultivadas com outras cultivares de trigo no ano anterior, plantas daninhas nocivas e plantas de outras espécies cultivadas (cevada, triticales, centeio, aveias, entre outras) (Pires *et al.*, 2011); genótipo, o qual conforme os avanços no melhoramento genético de trigo podem resultar em elevado potencial produtivo (Oliveira-Neto; Santos, 2017); além do manejo do solo, pragas, doenças, plantas daninhas e tratamentos culturais (CBPTT, 2022; Pires *et al.*, 2011).

Durante as fases vegetativas e reprodutivas, as condições climáticas, os tratamentos culturais e a sanidade refletem diretamente na definição tanto da germinação quanto do vigor máximos obtidos na época em que as sementes se desligam da planta, chamada de maturidade fisiológica, e também no potencial de conservação durante o

armazenamento (Marcos-Filho, 2015). A maturação de colheita ocorre após essa maturação fisiológica, nesse intervalo de tempo a semente fica armazenada a campo, perdendo água até o momento da colheita e estando sujeita a condições ambientais desfavoráveis. Relacionado a isso, sementes colhidas com umidade acima de 13% precisam passar pelo processo de secagem, o qual deve ser feito de forma cuidadosa quanto maior for a umidade da semente, além dos cuidados nos processos de beneficiamento e armazenamento das sementes (Pires *et al.*, 2011).

Desta forma, vale ressaltar que o Brasil possui baixa produção e produtividade de grãos de trigo, sendo altamente dependente da produção de outros países. Entende-se então a necessidade do uso correto das diversas tecnologias existentes, visando aumento tanto da qualidade das sementes quanto da qualidade tecnológica dos grãos produzidos no país.

## 2.5. QUALIDADE DE GRÃOS

A qualidade do trigo é influenciada por diferentes fatores, incluindo os de controle genético, como tipo ou qualidade da proteína, propriedades do amido, dureza do grão, rendimento de moagem, resistência à germinação em pré-colheita e coloração do grão (Pires *et al.*, 2011). Na história da triticultura brasileira, o melhoramento genético foi fundamental para a expansão da cultura no país, devido a criação de cultivares com aptidões agronômicas, fitossanitárias e de qualidade tecnológica recomendadas para diferentes ambientes, sistemas de produção e finalidades de uso (Guarienti *et al.*, 2022). Além disso, a qualidade do trigo é determinada pelo ambiente, como temperatura, adubação, disponibilidade de água (He *et al.*, 2019), tipo de solo, sanidade e maturação, enchimento do grão, e com isso, rendimento real de moagem, conteúdo proteico real, perdas pelo clima, quantidade de grãos quebrados, chochos, verdes ou queimados, presença de outras sementes ou materiais inertes, insetos, fungos e umidade do grão na colheita (Pires *et al.*, 2011).

Diversos tipos de testes são utilizados para avaliação da qualidade tecnológica de trigo. Em grãos inteiros podem ser determinadas a umidade do grão, peso hectolítrico ou peso do hectolitro, massa de mil sementes, dureza ou textura do grão, extração experimental ou rendimento da farinha, atividade da água, presença de proteína, cinza, lipídios, entre outros. Em farinha branca (refinada) ou no trigo moído são avaliadas a umidade, presença de cinza, proteína, glúten, número de queda ou



*falling number*, cor, granulometria, amido danificado e distribuição de tamanho de partícula. Existem também os testes de natureza preditiva que mensuram o desempenho da farinha de trigo, a exemplo por mixografia, alveografia, extensografia, farinografia, microssedimentação com dodecil sulfato de sódio, capacidade de retenção de solvente, propriedades de pasta e mixolab (Pires *et al.*, 2011).

Percebe-se então a ampla gama de testes que possibilitam avaliar a qualidade tecnológica do trigo, contribuindo para uma adequada comercialização e desenvolvimento da cadeia tritícola. Isto permite que os trigos e farinhas produzidos no Brasil atendam aos padrões de qualidade tecnológica necessários para os diferentes usos, tanto na alimentação humana quanto animal (Guarienti *et al.*, 2022). Em geral, os grãos de trigo que possuem maior qualidade tecnológica são destinados à moagem para fabricação de farinhas usadas em produtos alimentícios (Miranda, 2006), como pães, biscoitos ou bolachas tipo “cookie”, bolos e massas alimentícias (Pires *et al.*, 2011). O restante, não recomendado para a indústria, são destinados para fabricação de rações para alimentação animal ou são descartados (Miranda, 2006).

A legislação brasileira relacionada à normatização da identidade, qualidade, embalagem e apresentação do trigo brasileiro passou por diferentes mudanças e evoluções ao longo dos anos desde a primeira iniciativa com a Portaria nº 304 de 19 de dezembro de 1990 do Ministério da Agricultura e Reforma Agrária (MARA) (BRASIL, 1990), na qual o trigo nacional era classificado como “Tipo Único” se apresentasse nível máximo de 13% de umidade; de 1% de impurezas, matérias estranhas, grãos germinados e verdes; e 65 kg hL<sup>-1</sup> de peso hectolítrico mínimo.

Relacionado à isso, desde 30 de novembro de 2010 tem-se em vigor a Instrução Normativa nº 38 do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) em que se estabelece Grupos, Tipos e Classes de trigo com seus respectivos requisitos de qualidade físicos, físico-químicos e reológicos (BRASIL, 2010). O Grupo de trigo refere-se ao uso proposto, classificado como Grupo I (trigo destinado à alimentação humana) e Grupo II (trigo destinado à moagem e outras finalidades). O Tipo de trigo é classificado em 1, 2 e 3, conforme o peso hectolítrico, limites máximos de matérias estranhas e impurezas e da tolerância de defeitos (grãos danificados pelo calor, mofados e ardidos; grãos danificados por insetos; grãos chochos, triguilhos e quebrados), ou ser classificado como Fora de Tipo e desclassificado. Já a Classe de trigo, definida como Melhorador, Pão, Doméstico, Básico e Outros usos, é

determinada conforme os valores mínimos de força de glúten (alveografia), estabilidade (farinografia) e número de queda do grão, de acordo com o Anexo III da norma citada.

Conforme a qualidade do amido contido no endosperma, os trigos podem ser classificados comercialmente por sua dureza em duros e moles, o trigo duro “*hard*” tem o endosperma áspero ao tato e difícil de comprimir, resulta em farinhas com alto poder de absorção de água e com maior teor de proteína em relação do trigo mole, e são recomendados para fabricação de pães e macarrão; já o trigo mole “*soft*” tem consistência farinácea, são indicados para fabricação de farinhas destinadas a fabricação de bolos e bolachas. Ressalta-se que nesse caso, o trigo duro não se refere ao trigo originado do *Triticum turgidum* var. *durum*, mas sim ao trigo comum *Triticum aestivum* (Fornasieri Filho, 2008).

O peso hectolítrico (PH) é a massa de 100 litros de trigo, expressa em kg. Os valores obtidos estão relacionados com a forma, tamanho e densidade do grão. De forma geral, grãos vítreos apresentam PH maior que os amiláceos. O rendimento de farinha, a qualidade panificativa e a quantidade de proteína tem variação entre cultivares, além da influência do ambiente, porém, pode-se comparar o PH com o rendimento da farinha para uma mesma cultivar produzida em ambientes diferentes (Borém; Scheeren, 2015; Pires *et al.*, 2011). Além disso, o PH do trigo é utilizado como medida tradicional de comercialização em diversos países, pois expressa indiretamente a qualidade dos grãos, sendo que quanto menor o PH, menor o valor comercial do produto (Costa *et al.*, 2013; Pires *et al.*, 2011).

Com relação ao número de queda (NQ), este mensura a atividade da enzima alfa-amilase em trigo ou farinha e tem como objetivo identificar a presença de grãos pré-germinados, a qual afetam a qualidade do produto final (Pires *et al.*, 2011). Em resumo, nesse teste é utilizada a farinha de trigo integral misturada com água em tubos de ensaio e agitados vigorosamente. O tubo de ensaio, com um agitador fixado em seu topo, é imerso em uma água fervente. Posteriormente, o agitador se move para cima e para baixo misturando novamente a suspensão de farinha integral. Em seguida, o agitador é liberado e mensurado o tempo em segundos para atingir o fundo do tubo, o qual é definido como número de queda (He *et al.*, 2019).

Altos valores de NQ indicam baixa atividade dessa enzima e baixos valores indicam alta atividade, que geralmente é decorrente do processo de germinação em pré-colheita. Conforme explicado em tópicos anteriores, durante o processo de

embebição (absorção de água), ocorre a ação de enzimas hidrolíticas, como a alfa-amilase, que culminam com a germinação da semente. Isso ocorre quando os grãos estão fisiologicamente maduros e em presença de umidade (He *et al.*, 2019). Nesse sentido, as farinhas advindas da utilização desses grãos possuem alta atividade enzimática (NQ <200s), dando origem a pães com problemas como miolo escuro e pegajoso (Miranda *et al.*, 2009), ou seja, com baixa qualidade pensando na sua utilização para panificação. Apesar das mudanças quantitativas serem mais aparentes, as qualitativas são mais evidentes, além de terem maior importância nutricional (Miranda, 2006).

Quando o teste de NQ foi desenvolvido na década de 1960, o principal objetivo era verificar a qualidade da massa para pães. Sua aplicação visando avaliar a qualidade para outros produtos, como bolos e biscoitos, deve ser utilizada com cautela, visto que alguns trigos com baixo NQ na realidade não são de baixa qualidade, sendo necessário avaliar novos métodos para se determinar adequadamente a qualidade do grão conforme o tipo de uso (He *et al.*, 2019).

Conforme a Instrução Normativa Brasileira nº 38 de 2010, o valor mínimo de NQ expresso em segundos para a Classe de trigo Melhorador é de 250s, Pão e Doméstico de 220s, Básico de 200s e abaixo disso é classificado como Outros usos. A determinação do NQ é amplamente aderida pela indústria mundial do trigo, no Canadá o NQ de trigo vermelho de primavera para exportação é de 380 a 450s, na Austrália para trigo duro australiano é de 200 a 350s, no Reino Unido o NQ padrão para trigo mole e trigo duro é de 220 e 250s, respectivamente (He *et al.*, 2019).

Diante do exposto, fatores genéticos e ambientais influenciam na qualidade de grãos de trigo. Nesse sentido, o desenvolvimento de novas técnicas de manejo que favoreçam o desempenho produtivo e qualitativo das sementes/grãos são essenciais para o aprimoramento da cadeia produtiva da cultura do trigo. Ressalta-se, portanto, a necessidade de se investigar como a aplicação mais tardia do trinexapaque-etílico influencia na qualidade de sementes e de grãos de trigo.

## 2.6 REFERÊNCIAS

BARNARD, A.; SMITH, M.F. The effect of rainfall and temperature on the preharvest sprouting tolerance of winter wheat in the dryland production areas of the Free State Province. **Field Crops Research**, v. 112, n. 2-3, p. 158-164, 2009.

BAZZO J.H.B.; RIEDE, C.R.; ARRUDA, K.M.A.; CARDOSO, C.P.; FRANZONI, I.; FONSECA, I.C.B. e ZUCARELI, C. Performance of white oat cultivars in response to nitrogen fertilization and trinexapac-ethyl. **Semina: Ciências Agrárias**, v.40, n.5, p.2121-2136, 2019.

BORÉM, A.; SCHEEREN, P.L. **Trigo do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015. 260p.

BORSATO, E.F., PENCKOWSKI, L.H., MASCHIETTO, E.H.G. Reguladores de crescimento em trigo e cevada. **Revista FABC**. ed. 44, p. 25-29. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Portaria nº 304, de 19 de dezembro de 1990. **Diário Oficial da União, 20 dezembro**. 1990. Seção 1, p. 24919-24920

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. **Diário Oficial da União, 1º dezembro**. 2010. Seção 1, p. 2-4.

Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia, CBPA. Informações técnicas para a cultura da aveia: XL Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia. Três de Maio: SETREM, 2021. 190p.

Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, CBPTT. Informações técnicas para trigo e triticale: 14ª reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. Castro, Fundação ABC e Biotrigo Genética. 1ed., 2022. 274p.

Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, 8º levantamento. Brasília, v.11, n.8, 140p. 2024b.

Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB. Série histórica das safras 1976 a 2024. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/913-trigo>>. Acesso em 26 de Maio de 2024a.

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

DAVIES, P.J. The Plant Hormones: Their Nature, Occurrence, and Functions. In: Davies, P.J. (eds) **Plant Hormones**. Springer, Dordrecht. 2010. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2686-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2686-7_1)

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; BETIOLI JUNIOR, E.; NUNES, E.D.S.; FURLANETTO, R.; MENDES, M. **Alternativas para diversificação de sistemas de produção envolvendo a soja no norte do Paraná**. Embrapa Soja (Documentos, 398), 2017.

DELCOUR, J.A.; HOSENEY, R.C. **Principles of cereal science and technology**. ed. 3. St. Paul, Minnessota (EUA): AACC, 2010. 280p.

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

FRANCESCHI, L.D.; BENIN, G.; GUARIENTI, E.; MARCHIORO, V.S.; MARTIN, T.N. Fatores pré-colheita que afetam a qualidade tecnológica de trigo. **Ciência Rural**, v. 39, p.1625-1632, 2009.

GUARIENTI, E.M.; CUNHA, G.R.; MIRANDA, M.Z.; SCHEEREN, P.L.; CAIERAO, E.; CASTRO, R.L.; PIRES, J.L.F. Normas de classificação comercial de trigo e de farinha de trigo no Brasil: uma perspectiva histórica. Embrapa Trigo, Passo Fundo. (Documentos 199). 2022.

GUARIENTI, E.M.; PIRES, J.L.F.; CASTRO, R.L.; CUNHA, G.R.; VALENTINI, A.P.F.; ROSA, A.C.; CAIERÃO, E.; REIS, E.M.; FRANCO, F.A.; DALMAGO, G.A.; WAGNER, J.F.; OKUYAMA, L.A.; MOLSSATO, L.L.; MELLO, L.G.; SILVA, M.S.; BRISTOT, M.; SCHEEREN, P.L.; AIRES, R.F. e TONON, V.D. Método para avaliar a germinação pré-colheita em genótipos de trigo: desenvolvimento analítico e aplicação. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Embrapa Trigo, Passo Fundo, nº 87, 2017.

GUERRA, M.P.; RODRIGUES, M. A. Giberelinas. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan. 2ed. 431p. 2008.

HE, Y.; LIN, Y.L.; CHEN, C.; TSAI, M.H.; LIN, A.H.M. Impacts of starch and the interactions between starch and other macromolecules on wheat falling number. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 3, p. 641-654, 2019.

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J. de B.; HENNING, A.A. A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 24p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 136).

KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.D.B.; MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: Conceitos e Testes**. Londrina: Abrates. 601p. 2020.

KUMAR, S.; KNOX, R.E.; CLARKE, F.R.; POZNIAK, C.J.; DEPAUW, R.M.; CUTHBERT, R.D.; FOX, S. Maximizing the identification of QTL for pre-harvest sprouting resistance using seed dormancy measures in a white-grained hexaploid wheat population. **Euphytica**, n. 1, p.287-309, 2015.

LAMAS, F.M. **Produzir trigo no Brasil, mais que uma opção, uma necessidade**. Embrapa Agropecuária Oeste. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/34949879/artigo---produzir-trigo-no-brasil-mais-que-uma-opcao-uma-necessidade>. Acesso em 15 de Julho de 2024.

LARGE, E.C. Growth stages in cereals. Illustration of the Feekes scale. **Plant pathology**, v. 3, n. 4, p. 128-129, 1954.

LUDWIG, M.P. **Fundamentos da produção de sementes de culturas produtoras de grãos**. Ibirubá: IFRS, 2016. 123p.

MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Manual de Análise Sanitária de Sementes. Brasília: MAPA/ACS, 200p., 2009a.

MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 395p., 2009b.

MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa nº 45, 402 de 17 de setembro de 2013: Anexo XXIII. Brasília: D. O. U, 38p., 2013.

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

MARES, D.J.; MRVA, K. Wheat grain preharvest sprouting and late maturity alpha-amylase. **Planta**, v. 240, n. 6, p. 1167-1178, 2014.

MUGNOL, D.; EICHELBERGER, L. Qualidade de Sementes. In: IV Mostra de Iniciação Científica da Embrapa Trigo Resumos. Documentos online, Embrapa Trigo, n.94, 2008.

MIRANDA, M.Z. Trigo: germinação e posterior extrusão para obtenção de farinha integral extrusada de trigo germinado. **Embrapa Trigo**, Passo Fundo. (Documentos, 74), 2006.

MIRANDA, M.Z.; MORI, C.; LORINI, I. Qualidade comercial do trigo brasileiro: safra 2006. Embrapa Trigo, Passo Fundo. (Documentos 112). 49p. 2009.

MIRANSARI, M.; SMITH, D.L. Plant hormones and seed germination. **Environmental and Experimental Botany**, v. 99, p. 110-121, 2014.

MORI, C.; ANTUNES, J.M.; FAÉ, G.S.; ACOSTA, A.S. **Trigo**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa, 2016. 309p.

NUNES, P.H.M.P.; AQUINO, L.A.; XAVIER, F.O.; SANTOS, L.P.D.; MACHADO, L.G.; AQUINO, P.M. Effects of growth regulator and nitrogen on yield and lodging of irrigated wheat. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 37, n. 4, p. 1709-1720, 2016.  
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n4p1709>

OLIVEIRA NETO, A.A. de; SANTOS, C.M.R. A cultura do trigo. **Brasília: CONAB**, 2017. 218p.

PENCKOWSKI, L.H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Nitrogênio e redutor de crescimento em trigo de alta produtividade. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v. 31, n.1, p. 473-479, 2009. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i3.1048>

PENCKOWSKI, L.H.; BORSATO, E.F. Utilizando regulador de crescimento em cereais de inverno. 1ªed. Fundação ABC, Castro. 72p. 2016.

PIANA, C.F.B; CARVALHO, F.I.F. Trigo: a cultura que deu suporte à civilização. In: BARBIERI, R. L; STUMPF, E. R. T. **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília, DF: Embrapa Clima Temperado, 2008. p.821-852.

PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G.R. Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável. **Embrapa Trigo**, Passo Fundo, 1ª ed., 488p., 2011.

RODRIGUES, J.D.; FIOREZE, S. Reguladores são, para muitos cultivos, indispensáveis ao alcance de bons níveis. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 13, p. 35-39, 2015.

STEFEN, D.L.V.; SOUZA, C.A.; COELHO, C.M.M.; TORMEN, M.E.; ZANESCO, P.R., CASA, R.T., SANGOI, L.; NUNES, F.R. Nitrogen management associated with growth retardants in wheat cv. Mirante. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 13, n. 1, p. 30-39, 2014.

SWOISH, M.; LEME-FILHO, J.F.C.; REITER, M.; STEWART, R.; THOMASON, W. Trinexapac-ethyl rate and timing impact on malt barley production in Virginia. **Crop, Forage & Turfgrass Management**, v. 7, n. 2, p. 1-7, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 6ª ed, 856p. 2017.

TONATTO, M. Aplicação de trinexapaque etílico na fase reprodutiva do trigo para manejo da germinação pré-colheita. 2017. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

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

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

### 3. ARTIGO A

## CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E GERMINAÇÃO EM PRÉ-COLHEITA DE TRIGO EM RESPOSTA A APLICAÇÃO TARDIA DE TRINEXAPAQUE-ETÍLICO

### 3.1 RESUMO

Na cultura do trigo são utilizados reguladores de crescimento na fase vegetativa visando a redução de altura e os riscos de acamamento das plantas. No entanto, a aplicação tardia pode ser explorada para minimizar outros problemas críticos da cultura. Com isso, objetivou-se avaliar os efeitos de épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico (TE) nas características agronômicas e na germinação pré-colheita em trigo. O experimento foi conduzido nas safras 2021 e 2022, Londrina, PR, utilizando as cultivares de trigo IPR Panaty e IPR Potyporã, suscetível e tolerante a germinação na espiga, respectivamente. O delineamento foi de blocos casualizados, esquema fatorial  $4 \times 4 + 1$ , com três repetições, sendo quatro doses de TE (50, 100, 150 e 200 g ha<sup>-1</sup>), aplicadas em quatro épocas (E1: entre o 1° nó visível e o 2° nó perceptível; E2: espigamento; E3: grão em estado aquoso; E4: fim do estado de grão leitoso); e o controle (sem aplicação de TE). Avaliou-se o número de dias da emergência ao espigamento, altura de plantas, componentes de produção, produtividade e qualidade de grãos com e sem efeito de chuva simulada. O TE reduziu a altura das plantas na época E1, com maior eficácia conforme aumento das doses. A cultivar IPR Panaty demonstrou ser mais suscetível ao acamamento de plantas e redução da qualidade dos grãos que a IPR Potyporã. Entre as épocas E2, E3 e E4, a época E4 foi a que apresentou maior potencial a ser explorado na minimização de perdas da qualidade tecnológica de grãos de trigo.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L.; fitoreguladores; redutor de crescimento; germinação na espiga.



### 3.2 ABSTRACT

In wheat crops, growth regulators are used in the vegetative phase to reduce plant height and reduce the risk of lodging. However, late application can be explored to minimize other critical crop problems. Thus, the aim of this study was to evaluate the effects of trinexapaque-ethyl (TE) application times and doses on agronomic characteristics and pre-harvest germination in wheat. The experiment was conducted in the 2021 and 2022 harvests, in Londrina, PR, using the wheat cultivars IPR Panaty and IPR Potyporã, susceptible and tolerant to ear germination, respectively. The design was randomized blocks, factorial scheme 4 x 4 + 1, with three replications, being four doses of TE (50, 100, 150 and 200 g ha<sup>-1</sup>), applied in four periods (E1: between the 1<sup>st</sup> visible node and the 2<sup>nd</sup> perceptible node; E2: earing; E3: grain in aqueous state; E4: end of milky grain state); and control (without TE application). The number of days from emergence to earing, plant height, production components, productivity and grain quality with and without the effect of simulated rainfall were evaluated. TE reduced plant height in period E1, with greater efficacy as the doses increased. The cultivar IPR Panaty proved to be more susceptible to plant lodging and reduction in grain quality than IPR Potyporã. Among the E2, E3 and E4 seasons, the E4 season presented the greatest potential to be explored in minimizing losses in the technological quality of wheat grains.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L.; phytohormones; growth reducer; germination on the ear.

### 3.3 INTRODUÇÃO

Dentre os fatores limitantes para a produtividade do trigo destaca-se o acamamento de plantas, caracterizado pelo deslocamento da posição vertical do colmo, com possibilidade de quebramento. Isto prejudica a translocação de fotoassimilados para os grãos, reduz a qualidade tecnológica, a produtividade de grãos e a eficiência de colheita. Esse problema traz prejuízos não só ao trigo, mas também a outros cereais de inverno, como a aveia (CBPA, 2021) e cevada (Swoish *et al.*, 2021). O uso de reguladores de crescimento vegetal, a exemplo o ingrediente ativo trinexapaque-etílico, que atua inibindo os níveis de giberelina ativa na planta e reduzindo a alongação dos entrenós, torna-se estratégia de manejo necessária visando reduzir a altura da planta, e assim o acamamento (CBPTT, 2022).

Os efeitos positivos da aplicação de trinexapaque-etílico são dependentes da interação com outros fatores de produção como época de aplicação, ambiente de produção e o genótipo. No trigo, a aplicação de trinexapaque-etílico no estágio de alongamento do colmo, entre o 1º nó visível e o 2º nó perceptível ao tato, reduz a altura e a porcentagem de acamamento das plantas, com possibilidade de incrementos na produtividade de grãos (Penckowski *et al.*, 2009; Penckowski *et al.*, 2010). Em outros estudos, apesar de não terem observado o acamamento, também foi verificado redução de altura das plantas e aumento da produtividade de grãos (Zagonel; Fernandes, 2007; Pagliosa *et al.*, 2013).

O estudo de substâncias reguladoras do metabolismo da planta que atuam inibindo ou promovendo processos fisiológicos é relevante na busca de aumento do potencial produtivo das culturas. Nesse sentido, outro problema que acomete a cultura do trigo é a germinação na pré-colheita, responsável por reduzir a qualidade tecnológica e comercial dos grãos (Guarienti *et al.*, 2017). Essa germinação ainda na espiga é regulada pelos hormônios vegetais ácido abscísico (ABA) e giberelina (GA), que atuam na indução da germinação e na regulação da dormência e inibição da germinação, respectivamente (Marcos-Filho, 2015).

Assim, considerando os aspectos de formação e hormonais dos grãos, hipotetiza-se que a aplicação mais tardia do trinexapaque-etílico poderia ser capaz de alterar o equilíbrio hormonal (ABA:GA) nos grãos durante a sua formação, com possibilidade de redução da incidência de grãos germinados na espiga. Dessa forma, são desconhecidos estudos relacionando os aspectos agrônômicos das plantas e dos

grãos formados em resposta a aplicações do trinexapaque-etílico em estádios de formação dos grãos. Neste aspecto, uma possível atuação do trinexapaque etílico aplicado em épocas visando reduzir a germinação na espiga, pode ter atuação favorável ou desfavorável ao desempenho produtivo da cultura, o que não seria desejável. Ressalta-se, portanto, a necessidade de se compreender melhor os potenciais e efeitos da aplicação desse produto.

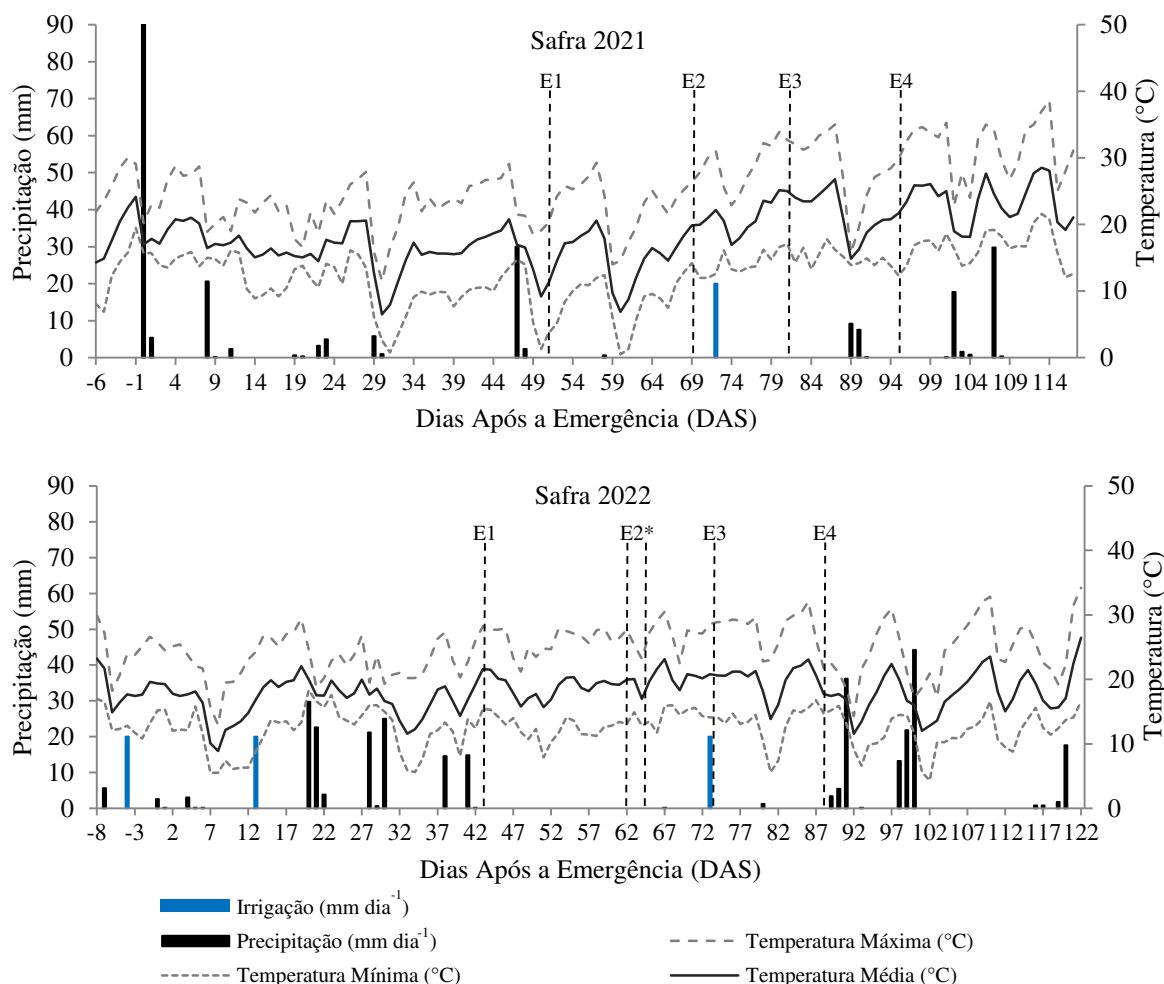
Diante do exposto, objetivou-se estudar os efeitos de épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico (TE) em características agrônômicas, qualidade de grãos e germinação na espiga em pré-colheita de cultivares de trigo.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em duas safras agrícolas, 2021 e 2022, na Estação de Pesquisa do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER (IDR-Paraná), situada em Londrina, Paraná, Brasil (latitude 23°22'S; longitude 51°10'W; 585 m altitude). O clima da região é classificado como Cfa (clima subtropical úmido), segundo classificação de Köpen, com precipitação pluvial média de 300 a 400 mm no outono e de 200 a 300 mm no inverno; temperatura mínima de 16 a 17 °C no outono e 12 a 13 °C no inverno; e temperatura máxima de 27 a 28 °C no outono e 24 a 25 °C no inverno (Nitsche *et al.*, 2019).

As temperaturas máximas e mínimas (°C), as precipitações pluviométricas e a irrigação (mm dia<sup>-1</sup>) registradas durante os períodos de condução dos experimentos encontram-se na Figura 1. Para a safra de 2021, antes da implantação da cultura ocorreram precipitações pluviais que contribuíram para o estabelecimento do estande de plantas, porém, no decorrer do ciclo essas chuvas tornaram-se mais escassas, sendo necessário realizar irrigação na área aos 72 dias após a emergência (DAS) (25 mm dia<sup>-1</sup>), totalizando ao final 256 mm (Figura 1). A média das temperaturas máximas e mínimas foram de 26,1 e 12,8 °C, respectivamente. Além disso, aos 31, 51, 60 e 61 DAS as temperaturas mínimas ficaram próximas a 0 °C, porém, como as plantas ainda estavam em fase de perfilhamento e emborrachamento, não tiveram seu crescimento e desenvolvimento prejudicados. Na safra 2022 foi necessário realizar irrigação na área (25 mm dia<sup>-1</sup>) após a semeadura, e também em outros dois momentos ao longo do ciclo da cultura (Figura 1), totalizando ao final 351,2 mm, volume total de água maior em relação à safra anterior. A média das temperaturas máximas e mínimas

foram de 24,8 e 12,4 °C, respectivamente. Além disso, não ocorreram temperaturas próximas a 0 °C, dessa forma, as cultivares de trigo não foram prejudicadas por problemas relacionados a geadas.



**Figura 1** - Dados de precipitação pluvial, irrigação (mm dia<sup>-1</sup>), temperatura máxima, mínima e média (°C) ocorridas durante os períodos de condução dos experimentos. Safras de 2021 e 2022, Londrina - PR.

Épocas de Aplicação do trinexapaque etílico (g ha<sup>-1</sup>) nas cultivares de trigo IPR Panaty e IPR Potyporã: E1: Estádio de alongamento do colmo, entre o 1º nó do colmo visível e 2º nó perceptível; E2: Espigamento; E2\*: 62 DAS (IPR Panaty) e 65 DAS (IPR Potyporã); E3: Estádio de grão aquoso; e E4: Estádio final de grão leitoso.

O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (EMBRAPA, 2018). O preparo do solo constituiu em aração seguida de duas gradagens de discos. A cultura de verão antecessora na safra 2021 foi o milho e na safra 2022 foi o feijão guandu. Antes de iniciar o experimento amostras de solo da área experimental foram coletadas na camada de 0-20 cm para análise de suas características químicas (Tabela 2).

**Tabela 2** - Características químicas do solo na profundidade de 0-20 cm. Safra 2021 e 2022, Londrina - PR.

| Safra | pH<br>CaCl <sub>2</sub> | P<br>(mg/dm <sup>3</sup> ) | C<br>g/dm <sup>3</sup> | Al    | H+Al | Ca   | Mg                                 | K     | SB   | T     | V             | SA   |
|-------|-------------------------|----------------------------|------------------------|-------|------|------|------------------------------------|-------|------|-------|---------------|------|
|       |                         |                            |                        | ----- |      |      | cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | ----- |      |       | ----- % ----- |      |
| 2021  | 4,80                    | 33,3                       | 16,40                  | 0,16  | 7,20 | 4,45 | 1,56                               | 0,68  | 6,69 | 13,89 | 48,16         | 2,33 |
| 2022  | 5,80                    | 44,5                       | 16,94                  | 0,00  | 3,68 | 5,47 | 3,00                               | 1,08  | 9,55 | 13,23 | 72,18         | 0,00 |

T: Capacidade de troca de cátions; V, saturação por bases; AS, saturação por alumínio.

A semeadura mecanizada foi realizada dentro do zoneamento recomendado para a cultura do trigo no Paraná. Na safra 2021 a semeadura foi realizada em 24/05/2021, com emergência de plântulas em 31/05/2021 e colheita em 24/09/2021 para as duas cultivares. Na safra 2022, a cultura foi semeada em 02/05/2022, com emergência de plântulas em 11/05/2022 e colheita em 05/09/2022 (cultivar IPR Panaty) e 09/09/2022 (cultivar IPR Potyporã).

A adubação de base na safra 2021 foi constituída da aplicação de 270 kg ha<sup>-1</sup> de N-P-K da formulação 04-30-10, e na safra 2022 de 300 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 08-30-20. A adubação de cobertura foi realizada com 90 kg ha<sup>-1</sup> de ureia, sendo 40,5 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, aplicado de forma manual a lanço, em ambas as safras. Os demais tratamentos culturais foram realizados conforme as necessidades e as recomendações para a cultura do trigo (CBPTT, 2022).

Dois cultivares de trigo contrastantes quanto a suscetibilidade à germinação em pré-colheita foram avaliadas. A cultivar IPR Panaty foi lançada em 2016 pelo IAPAR, apresenta ciclo precoce (63 dias para o espigamento e 112 dias para a maturação), suscetível à germinação em pré-colheita, moderadamente resistente ao acamamento, com altura média de planta de 80 cm. A cultivar IPR Potyporã foi lançada em 2016 pelo IAPAR, tem ciclo médio (65 dias para o espigamento e 123 dias para a maturação), moderadamente resistente à germinação em pré-colheita e ao acamamento, com altura média de planta de 84 cm (Basso *et al.*, 2022).

Para cada cultivar conduziu-se um experimento independente. Utilizou-se densidade de 330 sementes viáveis por m<sup>2</sup>. A dimensão da parcela experimental foi de seis linhas de 5 m de comprimento, espaçadas em 0,17 m, totalizando 5,1 m<sup>2</sup> de área total por parcela. Considerou-se como área útil somente as quatro linhas centrais.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 4 x 4 + 1, sendo quatro doses do regulador de crescimento trinexapaque-etílico (50, 100, 150 e 200 g ha<sup>-1</sup>), correspondendo a 200,

400, 600 e 800 mL ha<sup>-1</sup> do produto comercial MODDUS®; quatro épocas de aplicação: E1 - no estágio de alongamento do colmo, entre o 1º nó do colmo visível e 2º nó perceptível ao tato (Z31-Z32); E2 - no espigamento (Z54); E3 - no início de formação do grão (estado aquoso, Z71); e E4 - no final de desenvolvimento do grão leitoso (Z77-Z83), conforme a escala de Zadoks *et al.* (1974); e um tratamento adicional controle, sem aplicação do produto.

O trinexapaque-etílico foi aplicado com pulverizador costal, à pressão constante de 30 lb pol<sup>-2</sup>, pelo CO<sub>2</sub> comprimido, com pontas de jato plano "leque" BD 110-02, espaçadas a 55 cm, e taxa de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup>.

Neste estudo foram avaliadas as seguintes características agronômicas:

Número de dias da emergência das plântulas até o espigamento (DEE): Foi considerado o número de dias quando mais de 50% das plantas apresentaram espigas expostas; considerou-se a espiga exposta quando mais de 50% da espiga estivesse visível.

Altura de planta (ALT): foi medida do nível do solo até a extremidade da espiga, excluindo-se as aristas. Considerou-se a média de três medidas em pontos aleatórios da área útil da unidade experimental.

Número de espigas por m<sup>2</sup> (NE): foi determinado por meio de contagem do número de espigas em 1,0 m de fileira de plantas tomado ao acaso na área útil da parcela, e convertido para número de espigas/m<sup>2</sup>.

Número de grãos por espiga (NGE): foi obtido a partir da coleta de 10 espigas em 1,0 m de fileira de plantas na área útil das parcelas, da trilha e pesagem dos grãos, obtendo-se massa de grãos presentes em 10 espigas, o valor encontrado foi dividido por 10 para obter a massa de grãos por espiga (MGE). Desta amostra também foi determinado a massa de mil grãos (M1000). O NGE foi estabelecido por meio da equação  $NGE = MGE / (M1000 / 1000)$ .

Massa de mil grãos (M1000): determinada pela média de três repetições de 100 grãos por parcela, totalizando nove repetições por tratamento. A média desses valores foi multiplicada por 10 para obtenção dos resultados, expressos em gramas.

Acamamento de plantas (ACAM): porcentagem de plantas acamadas dentro da parcela, considerando como acamadas as plantas com o colmo com mais de 45° de inclinação em relação ao solo.

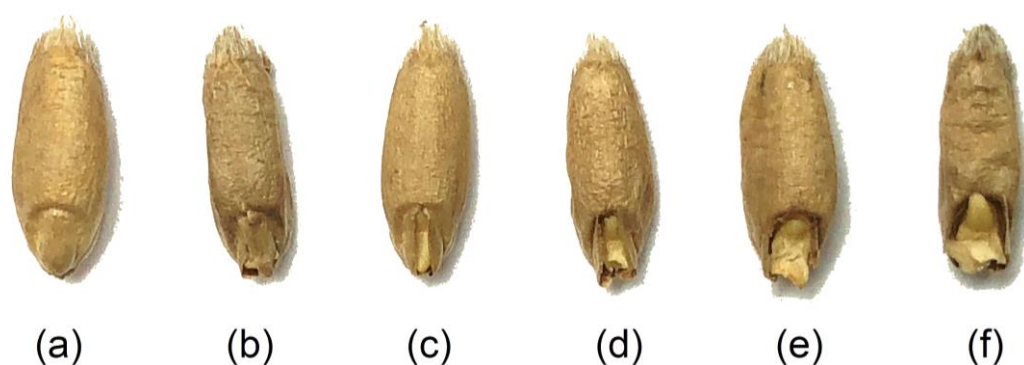
Produtividade de grãos (PROD): obtida por meio da determinação da massa dos grãos colhidos de forma mecanizada na área útil de cada parcela e os resultados

transformados em kg ha<sup>-1</sup>, com umidade medida com o equipamento marca Gehaka Agri modelo G800, e corrigida para 13%.

Para as avaliações da germinação na espiga (GE), massa de mil grãos (M1000), peso hectolítrico (PH) e número de queda (NQ), espigas foram colhidas manualmente após o estágio de maturação fisiológica dentro de 1 m<sup>2</sup> da área útil da parcela. Estas foram armazenadas em local protegido da luz solar direta e umidade, à temperatura ambiente, por um período de aproximadamente 30 dias. Metade da amostra de espigas foi separada para as avaliações de M1000, PH e NQ, e a outra parte foi submetida a chuva simulada por nebulização em casa de vegetação, no qual foi avaliado a germinação na espiga (GE), massa de 1000 grãos (M1000neb), peso hectolítrico (PHneb) e número de queda após a nebulização (NQneb), descritos a seguir:

Germinação na espiga (GE): Para cada parcela foram feitos dois feixes compostos por 25 espigas de trigo, os quais foram levados para casa de vegetação e colocados sobre um telado com 85 cm de altura e furos de 4 cm (largura e comprimento). Após, foram submetidos a nebulização por meio do uso de pontas de pulverização com jato plano e gotas finas, as quais a cada três minutos eram ligadas e nebulizavam as espigas por 25 segundos, totalizando aproximadamente 2 mm por hora, representando as condições de uma chuva simulada. A duração total do teste foi estimada por meio da avaliação visual dos grãos da espiga da testemunha do material suscetível à germinação na espiga, a cultivar IPR Panaty, a qual teve grãos com protrusão da radícula após 48 horas do início do teste, representando 96 mm de água. Além disso, duas vezes ao longo do dia os feixes contendo as espigas foram aleatorizados dentro da área molhável, visando garantir o molhamento uniforme das espigas.

Após o período de molhamento, os feixes foram colocados em sacos de papel kraft e levados para secar em estufa com circulação de ar a 40°C por 48 horas. Posteriormente, as espigas foram trilhadas mecanicamente e os grãos guardados em sacos de papel. A porcentagem de grãos germinados na espiga (GE) foi mensurada em duplicata em 50 grãos amostrados aleatoriamente, contabilizado como germinados os grãos com ruptura do pericarpo visível (Figura 2), com o auxílio de lupa de aumento de 10x quando necessário, conforme a metodologia descrita por Okuyama *et al.* (2017).



**Figura 2** - Grãos de trigo com diferentes estádios de germinação, utilizados como parâmetros visuais para considerar o grão não germinado (a) ou germinado (b, c, d, e, f). Fonte: o próprio autor.

Massa de mil grãos (M1000neb): determinada pela média de três repetições de 100 grãos por parcela, totalizando nove repetições por tratamento na amostra submetida a simulação de chuva por nebulização. A média desses valores foi multiplicada por 10 para obtenção dos resultados, expressos em gramas.

Peso hectolítrico (PH e PHneb): determinado na amostra de grãos sem os efeitos da chuva simulada (PH), e também na amostra submetida a simulação de chuva por nebulização (PHneb), por meio de metodologia descrita por Okuyama *et al.*, (2020).

Número de Queda (NQ e NQneb): avalia a atividade da enzima  $\alpha$ -amilase presente nos grãos sem os efeitos da chuva simulada (NQ), e também na amostra submetida a simulação de chuva por nebulização (NQneb), e foi determinado conforme o método 56-81B, sendo o resultado expresso em segundos (AACC, 2000).

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade dos erros, homogeneidade de variância dos resíduos e independência dos erros. Atendendo aos pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância. Quando significativo, para o efeito de épocas as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância. Se significativo para efeito isolado de dose ou interação entre os fatores, foi realizado a análise de regressão polinomial a 5% de significância. Para comparação do controle com os demais tratamentos foi realizado o teste de Dunnett a 5% de significância. Todas as análises estatísticas foram feitas com o auxílio do software R (R Core Team, 2023), usando os pacotes AgroR (Shimizu *et al.*, 2023) e AgroReg (Shimizu; Gonçalves, 2023).



### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

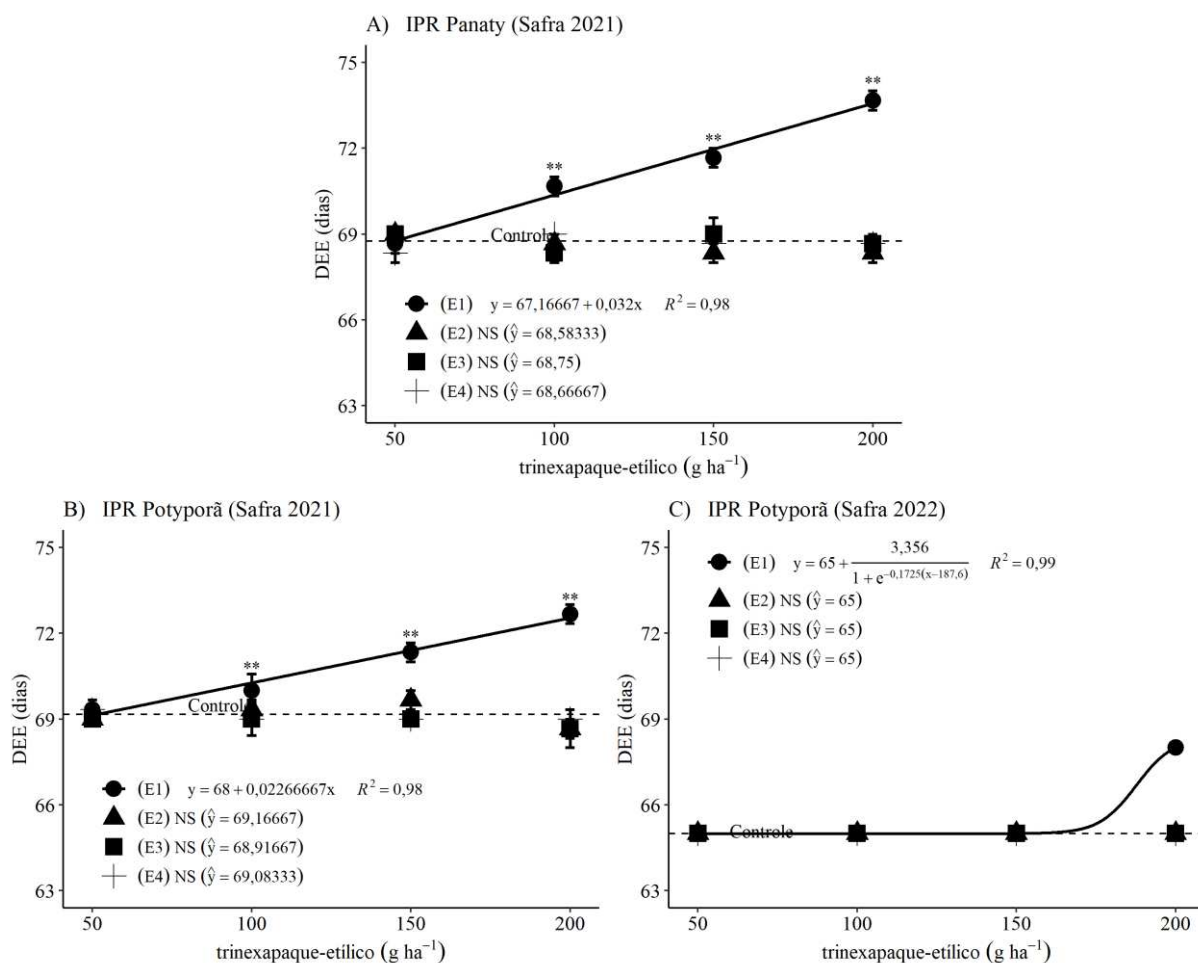
Conforme a Tabela 3, o número de dias da emergência ao espigamento (DEE) apresentou interação entre época e dose (E x D) para IPR Panaty somente na safra 2021 e na IPR Potyporã nas duas safras. Verificou-se regressão significativa somente para a época de aplicação E1, com ajuste linear crescente (Figura 3A e 3B) para ambas as cultivares na safra 2021. Desse modo, conforme houve o aumento das doses de trinexapaque-etílico obteve-se aumento do número de dias entre a emergência e o espigamento, diferindo do tratamento controle (testemunha) a partir da dose 100 g ha<sup>-1</sup> de trinexapaque-etílico. Na safra de 2022, foi observado para IPR Potyporã na E1 ajuste a regressão logística, na qual a partir da dose 150 g i.a. a curva tem um aumento com máximo na dose de 200 g i.a., porém, sem diferir do tratamento controle pelo teste de Dunnet (Figura 3C). O aumento do DEE na E1 pode ter ocorrido devido ao efeito trinexapaque-etílico, que inibe a giberelina ativa presente na planta, reduzindo a velocidade de crescimento dos entrenós do colmo, incluindo do pedúnculo (último entrenó), que é a estrutura que emite a espiga para fora da bainha da última folha, aumentando o período para o espigamento.

Penckowski *et al.* (2009) observaram que a dose de 100 g ha<sup>-1</sup> de trinexapaque-etílico aplicada na cultivar de trigo Avante na mesma época (E1: entre o 1° nó visível e 2° perceptível) avaliada no presente estudo, reduziu o comprimento do pedúnculo. Zagonel e Fernandes (2007) relatam que se o encurtamento do pedúnculo for acentuado, a espiga ou parte dessa, fica retida na bainha da folha-bandeira, prejudicando a antese e a formação dos grãos, e com isso a produtividade. Nesse sentido, quanto mais tardia fosse a aplicação considerando os estádios de perfilhamento e/ou alongamento do colmo, maior seria a redução dos últimos entrenós, inclusive do pedúnculo.

**Tabela 3** - Significância (p-valor) da análise de variância para características agrônômicas e dos componentes de produção nas cultivares de trigo IPR Panaty e IPR Potyporã em resposta a doses e épocas de aplicação de trinexapaque-etílico. Safras 2021 e 2022, Londrina, PR.

| Fonte de variação                | DEE    | ALT    | ACA    | NE      | NGE    | PROD     |
|----------------------------------|--------|--------|--------|---------|--------|----------|
| <b>IPR Panaty - Safra 2021</b>   |        |        |        |         |        |          |
| Época (E)                        | <0,001 | <0,001 | -      | 0,320   | 0,527  | 0,410    |
| Dose (D)                         | <0,001 | <0,001 | -      | 0,792   | 0,183  | 0,372    |
| Bloco                            | 0,026  | 0,252  | -      | 0,281   | 0,164  | 0,754    |
| E × D                            | <0,001 | <0,001 | -      | 0,133   | 0,553  | 0,485    |
| Fatorial x                       | 0,077  | 0,009  | -      | 0,867   | 0,688  | 0,412    |
| Média Fatorial                   | 69,292 | 85,896 | -      | 426,000 | 40,518 | 4505,600 |
| Média Controle                   | 68,750 | 90,083 | -      | 431,500 | 39,282 | 4651,100 |
| CV (%)                           | 0,720  | 2,944  | -      | 12,8    | 12,6   | 6,5      |
| <b>IPR Panaty - Safra 2022</b>   |        |        |        |         |        |          |
| Época (E)                        | 0,075  | 0,001  | <0,001 | 0,078   | 0,613  | 0,970    |
| Dose (D)                         | 0,301  | 0,006  | <0,001 | 0,470   | 0,348  | 0,786    |
| Bloco                            | 0,995  | 0,284  | 0,383  | 0,333   | 0,980  | 0,939    |
| E × D                            | 0,077  | 0,109  | 0,252  | 0,205   | 0,252  | 0,958    |
| Fatorial x                       | 0,934  | 0,085  | 0,143  | 0,525   | 0,377  | 0,456    |
| Média Fatorial                   | 61,646 | 85,115 | 59,562 | 398,875 | 44,257 | 3853,040 |
| Média Controle                   | 61,583 | 88,264 | 81,083 | 379,000 | 41,152 | 4086,753 |
| CV (%)                           | 2,047  | 3,485  | 39,619 | 13,054  | 13,207 | 13,470   |
| <b>IPR Potyporã - Safra 2021</b> |        |        |        |         |        |          |
| Época (E)                        | <0,001 | <0,001 | -      | 0,696   | 0,291  | 0,254    |
| Dose (D)                         | 0,029  | <0,001 | -      | 0,057   | 0,342  | 0,076    |
| Bloco                            | 0,057  | 0,744  | -      | 0,977   | 0,848  | 0,036    |
| E × D                            | <0,001 | 0,009  | -      | 0,587   | 0,644  | 0,152    |
| Fatorial x                       | 0,322  | 0,071  | -      | 0,624   | 0,948  | 0,554    |
| Média Fatorial                   | 69,500 | 85,229 | -      | 400,583 | 33,975 | 3746,499 |
| Média Controle                   | 69,167 | 89,000 | -      | 415,500 | 33,806 | 3826,094 |
| CV (%)                           | 0,802  | 3,970  | -      | 12,621  | 12,803 | 5,964    |
| <b>IPR Potyporã - Safra 2022</b> |        |        |        |         |        |          |
| Época (E)                        | <0,001 | <0,001 | 0,003  | 0,819   | 0,527  | 0,046    |
| Dose (D)                         | <0,001 | 0,175  | 0,282  | 0,405   | 0,314  | 0,551    |
| Bloco                            | 0,557  | 0,023  | 0,027  | 0,973   | 0,015  | 0,540    |
| E × D                            | <0,001 | 0,083  | 0,463  | 0,536   | 0,001  | 0,265    |
| Fatorial x                       | <0,001 | 0,193  | 1,000  | 0,575   | 0,874  | 0,917    |
| Média Fatorial                   | 65,188 | 83,467 | 5,417  | 388,750 | 40,373 | 4098,778 |
| Média Controle                   | 65,000 | 85,264 | 5,417  | 407,000 | 39,862 | 4132,656 |
| CV (%)                           | 0,000  | 2,718  | 37,754 | 13,871  | 13,377 | 13,202   |

n.s., \*\* e \* = não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro pelo teste-F, respectivamente. DEE, número de dias da emergência ao espigamento (dias); ALT, altura de planta (cm); ACA, acamamento de planta (%); NE, número de espigas por m<sup>2</sup>; NGE, número de grãos por espiga; PROD, produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>).



**Figura 3** - Número de dias da emergência ao espigamento - DEE (dias) das cultivares de trigo IPR Panaty na safra 2021 (A); e IPR Potyporã na safra 2021 (B) e 2022 (C); em resposta a épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico (g i.a. ha<sup>-1</sup>).

\*\* = significativo a 1% de probabilidade de erro ao comparar o controle com os demais tratamentos pelo teste de Dunnett. Épocas de Aplicação: E1, estágio de alongamento do colmo, entre o 1° nó visível e 2° nó perceptível; E2, estágio de espigamento; E3, estágio de grão aquoso; e E4, estágio final de grão leitoso.

Na cultura do trigo o intervalo de doses para aplicação de trinexapaque-etílico recomendado pelo fabricante para a época E1 varia de 100 a 125 g i.a. ha<sup>-1</sup>, independente da cultivar. Na avaliação visual a campo as espigas das cultivares IPR Panaty e IPR Potyporã não apresentaram esse sintoma de retenção até a dose de 150 g i.a. ha<sup>-1</sup>. Somente na maior dose, 200 g i.a. ha<sup>-1</sup>, verificou-se que nem todas as espigas foram totalmente expostas, com maior intensidade na safra de 2021, mesmo após a avaliação de DEE, possivelmente devido ao maior encurtamento dos entrenós de toda a planta, bem como do pedúnculo. As diferenças nas respostas entre as safras 2021 e 2022 do presente estudo podem estar relacionadas às variações nas condições ambientais diferentes, a qual foi mais seca em 2021 nos estádios vegetativos anteriores a E1 em comparação à 2022.

Para a altura de plantas (ALT), tanto a cultivar IPR Panaty quanto a IPR Potyporã apresentaram interação significativa entre época e dose na safra 2021 (Tabela 3). As épocas E1 e E2 apresentaram ajuste linear decrescente conforme aumento das doses, com decréscimo mais acentuado na época E1 (Figura 4A e 4C), assim como já esperado visto que essa é a época recomendada para a aplicação do trinexapaque-etílico visando redução do porte da planta. Com relação à época E1, na cultivar IPR Panaty teve-se uma redução média de altura de 13% (12 cm) entre o tratamento controle (testemunha) e a dose recomendada para o produto (125 g i.a. ha<sup>-1</sup>), e de 26% (23 cm) com relação a maior dose testada (200 g i.a. ha<sup>-1</sup>). Na cultivar IPR Potyporã teve-se uma redução de 12% (10 cm) para 125 g i.a. ha<sup>-1</sup> e de 21% (19 cm) para 200 g i.a. ha<sup>-1</sup> em relação ao controle. Na safra 2022, a cultivar IPR Panaty teve resposta significativa para os fatores época e dose isolados. Para o fator doses a regressão apresentou ajuste linear decrescente, porém, com baixa amplitude de redução de altura, com 6% (5 cm) de diferença entre a testemunha e a maior dose estudada (Figura 4 D). Em relação às épocas, E1 e E2 foram as que apresentaram maior redução de altura, diferindo da E3 (Tabela 4). Para a cultivar IPR Potyporã, apesar de não ter sido verificado efeito significativo para doses, somente para épocas, E1 foi a que mais reduziu a altura das plantas, sem diferir da E2, além disso, E1 diferiu também do tratamento controle (testemunha) (Tabela 4), algo esperado, visto que essa é a época indicada para aplicação visando redução de altura das plantas.

Não foi observada a ocorrência de acamamento de plantas na safra 2021 para ambas cultivares. Por outro lado, na safra 2022 na IPR Panaty houve resposta significativa para os fatores isolados dose e época (Tabela 3). Para o fator doses, a regressão teve ajuste linear decrescente e redução de 27% de acamamento entre o tratamento controle (testemunha) e a dose recomendada para o produto (125 g i.a. ha<sup>-1</sup>), e de 56% em relação a maior dose desse estudo (200 g i.a. ha<sup>-1</sup>) (Figura 4D). Para o fator época foi possível verificar a maior efetividade da época E1 em reduzir o acamamento das plantas, diferindo do tratamento controle (testemunha) (Tabela 4). A cultivar IPR Potyporã, em 2022, apresentou resposta para o fator época (Tabela 3), porém, em todas as épocas de aplicação as porcentagens de acamamento foram baixas com valores inferiores a 8%, portanto, sem interferir expressivamente no desempenho da cultura. Considerando as duas safras do presente estudo, verifica-se que apesar das duas cultivares serem consideradas como moderadamente

resistentes, somente a IPR Potyporã demonstrou de fato ter menores problemas com relação ao acamamento.

**Tabela 4** - Características fisiológicas, componentes produtivos e de qualidade de grãos avaliadas nas cultivares de trigo IPR Panaty e IPR Potyporã em resposta às épocas de aplicação de trinexapaque-etílico. Safras 2021 e 2022, Londrina - PR.

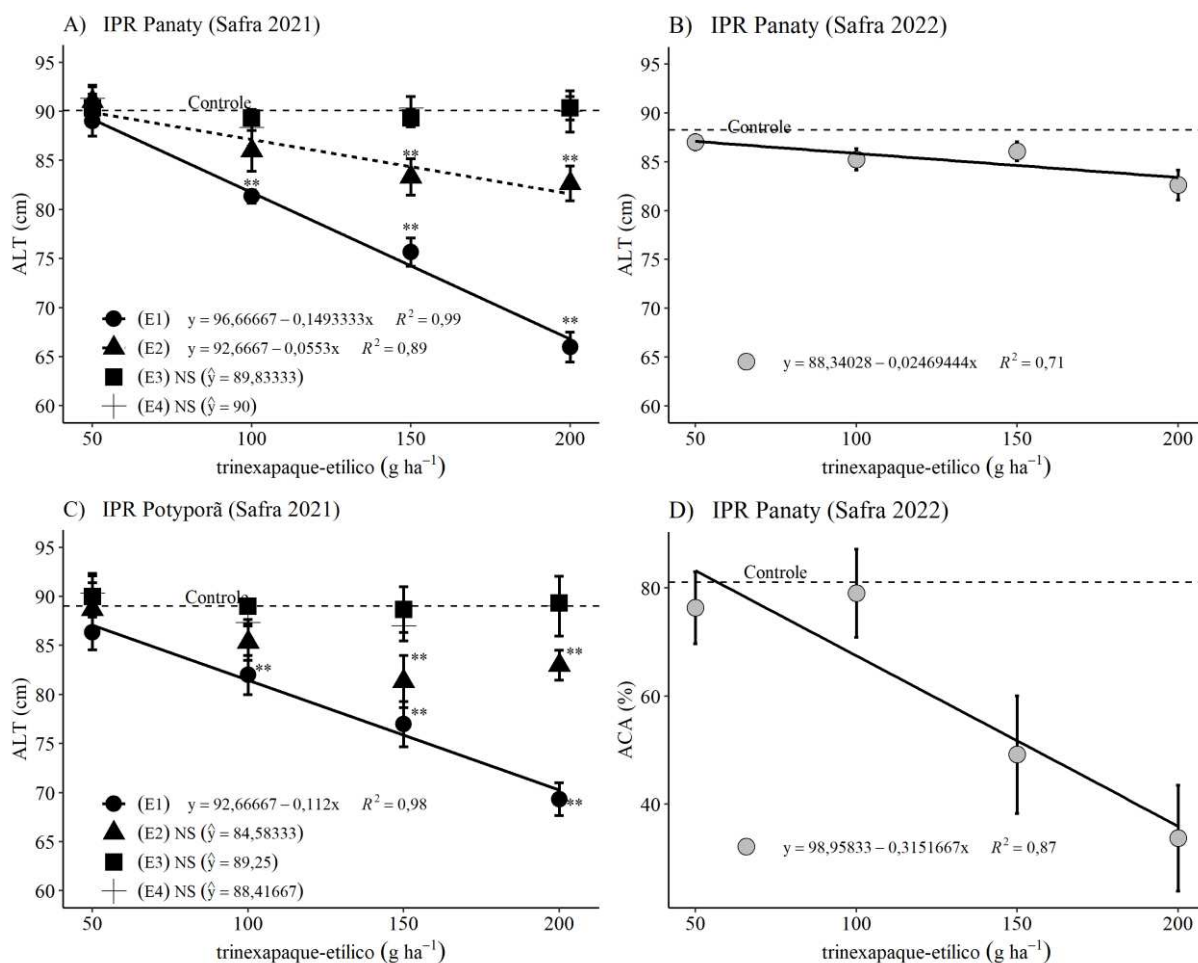
| Época    | IPR Panaty - Safra 2022 |          |         | IPR Potyporã Safra 2022 |        |
|----------|-------------------------|----------|---------|-------------------------|--------|
|          | ALT                     | ACA      | PH      | ALT                     | ACA    |
| E1       | 83,2 b                  | 29,6 b** | 75,6 b  | 80,8 b*                 | 4,58 b |
| E2       | 83,4 b                  | 59,4 a   | 76,2 ab | 83,1 ab                 | 5,00 b |
| E3       | 88,1 a                  | 76,9 a   | 76,9 a  | 84,3 a                  | 7,50 a |
| E4       | 85,8 ab                 | 72,3 a   | 76,5 ab | 85,6 a                  | 4,58 b |
| Controle | 88,2                    | 81,0     | 76,6    | 85,2                    | 5,4    |
| CV (%)   | 3,485                   | 39,619   | 1,219   | 2,718                   | 37,754 |

| Época    | IPR Potyporã Safra 2021 |         | IPR Potyporã Safra 2022 |         |
|----------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|
|          | PH                      | PH      | PROD                    | GE      |
| E1       | 76,7 a                  | 77,9 b  | 4021 ab                 | 47,9 a  |
| E2       | 77,5 a                  | 78,5 a  | 3800 b                  | 50,4 a  |
| E3       | 77,5 a                  | 78,5 a  | 4125 ab                 | 43,8 ab |
| E4       | 76,7 a                  | 78,2 ab | 4449 a                  | 35,2 b* |
| Controle | 76,6                    | 78,4    | 4132                    | 59,9    |
| CV (%)   | 1,013                   | 0,534   | 13,202                  | 22,120  |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. \*\* e \* = significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro ao comparar o controle com os demais tratamentos pelo teste de Dunnet, respectivamente. ALT, altura de planta (cm); ACA, acamamento de planta (%); PH, peso hectolítrico (kg hL<sup>-1</sup>); PROD, produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>); GE, germinação na espiga após simulação de chuva por nebulização (%); Épocas de Aplicação: E1, estágio de alongamento do colmo, entre o 1° nó visível e 2° nó perceptível; E2, estágio de espigamento; E3, estágio de grão aquoso e E4, estágio final de grão leitoso.

A E1 consiste no estágio indicado pelo fabricante para aplicação do trinexapaque-etílico. Neste estágio as plantas ainda não alongaram totalmente o colmo e seus entrenós, portanto, é possível reduzir a capacidade de crescimento e altura da planta e reduzir a propensão ao acamamento, como constatado nesse estudo. Outros trabalhos corroboram com estes resultados de redução de altura em cultivares de trigo, aplicado no primeiro nó visível e segundo perceptível (E1) ou no segundo nó visível (Espindula *et al.*, 2011; Pagliosa *et al.*, 2013; Zagonel e Fernandes, 2007) e de aveia (Bazzo *et al.*, 2019; Kaspary *et al.*, 2015).



**Figura 4** - Altura de planta (ALT) das cultivares de trigo IPR Panaty na safra 2021 (A) e 2022 (B), e IPR Potyporã na safra 2021 (C); e acamamento de planta (ACA) da cultivar IPR Panaty na safra 2022 (D); em resposta a épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico (g i.a. ha<sup>-1</sup>).

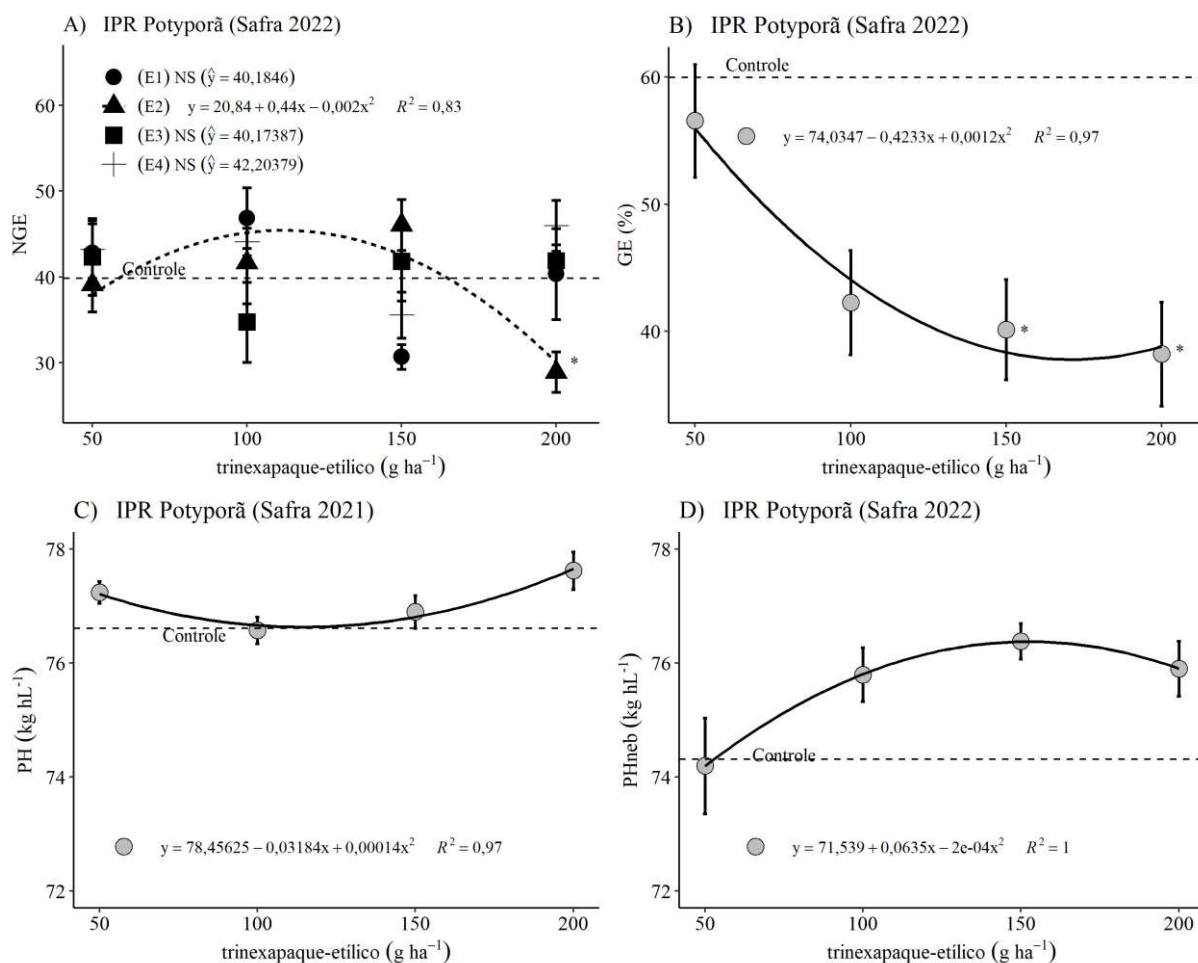
\*\* = significativo a 1% de probabilidade de erro ao comparar o controle com os demais tratamentos pelo teste de Dunnett. Épocas de Aplicação: E1, estágio de alongamento do colmo, entre o 1º nó visível e 2º nó perceptível; E2, estágio de espigamento; E3, estágio de grão aquoso; e E4, estágio final de grão leitoso.

Na aplicação realizada na época E2, que compreende o espigamento, foi observado redução da altura das plantas, porém, esse efeito foi menos expressivo, pois as plantas já estavam em estágio mais avançado de crescimento e próximo de atingir a altura final, e possivelmente o produto atuou principalmente na redução do pedúnculo da espiga. As épocas E3 e E4 não apresentaram regressão significativa, indicando, como esperado, que a aplicação efetuada em estádios de desenvolvimento mais tardios, isto é, após o espigamento, não interferem na altura das plantas. Além da aplicação no estágio E1 em que o produto já tem recomendação de aplicação, as épocas E2, E3 e E4 também foram estudadas para elucidar possíveis efeitos nas características de crescimento e desempenho produtivo das plantas.

Os componentes de produção número de espigas por m<sup>2</sup> (NE), número de grãos por espiga (NGE) e produtividade de grãos (PROD) não foram influenciados pelas épocas, doses isoladas ou interação, em ambas as safras para a cultivar IPR Panaty, e na safra 2021 para a IPR Potyporã (Tabela 3).

Na safra 2022, a IPR Potyporã, apresentou efeito significativo para a interação entre épocas x doses para a variável NGE (Tabela 3), com ajuste quadrático significativo somente na época E2 (espigamento) e máxima eficiência na dose de 110 g i.a. ha<sup>-1</sup> (Figura 5 A). Além disso, nessa época a maior dose (200 g i.a. ha<sup>-1</sup>) diferiu do tratamento controle. Desse modo, verificou-se que aplicações de trinexapaque-etílico na época E2 a partir da dose de 110 g i.a. ha<sup>-1</sup> refletem negativamente no NGE, possivelmente por interferir na formação dos gametas femininos e masculinos em formação dentro das espiguetas em cada espiga. Relacionado a isso, esses efeitos negativos no NGE na época E2 podem ter ocasionado a menor produtividade de grãos (Tabela 4). Por outro lado, a época E4 resultou em maior produtividade em relação as demais, porém, sem diferir das épocas E1 e E3.

Na literatura ainda não se tem relatos sobre a influência da aplicação do trinexapaque-etílico em épocas mais tardias de desenvolvimento dos grãos, a exemplo E2, E3 e E4 utilizadas neste estudo. Entretanto, para a aplicação efetuada na E1 observa-se que os componentes de produção de cultivares de trigo são afetados de maneira diferenciada, tendo relação principalmente com a resposta em particular da cultivar, as doses crescentes do produto e condições climáticas do ano de cultivo. No estudo realizado por Zagonel e Fernandes (2002b) foi verificado aumento do número de espigas por m, número de grãos por espiga e de produtividade para a cultivar de trigo IAPAR 53. Em outro trabalho dos autores, também foi detectado aumento do número de espigas por m e da produtividade na cultivar de trigo OR 1 (Zagonel; Fernandes, 2002a). Em contrapartida, Pagliosa *et al.* (2013) estudaram dois anos agrícolas e verificaram aumento do número de espigas por m, porém, com redução do número de grãos por espiga independente do ano de avaliação, e redução da produtividade de grãos em um dos dois anos estudados para a cultivar de trigo BRS 208. Os autores relataram que a variação de resposta conforme cada ano pode estar relacionada a menor disponibilidade hídrica que é variável, e que anos mais secos já resultam em si na redução do crescimento das plantas e com isso, de sua altura.



**Figura 5** - Número de grãos por espiga – NGE (A) e germinação na espiga após simulação de chuva por nebulização - GE (%) (B) na safra 2022; peso hectolétrico - PH ( $kg\ hL^{-1}$ ) na safra 2021 (C) e peso hectolétrico após nebulização - PHneb ( $kg\ hL^{-1}$ ) na safra 2022 (D), na cultivar de trigo IPR Potyporã em resposta a épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico ( $g\ i.a.\ ha^{-1}$ ).

\* = significativo a 5% de probabilidade de erro ao comparar o controle com os demais tratamentos pelo teste de Dunnett. Épocas de Aplicação: E1, estágio de alongamento do colmo, entre o 1º nó visível e 2º nó perceptível; E2, estágio de espigamento; E3, estágio de grão aquoso; e E4, estágio final de grão leitoso.

As aplicações do trinexapaque-etílico efetuadas em estádios posteriores ao espigamento (E2, E3 e E4) realizadas neste estudo se propõem verificar se o princípio ativo do regulador de crescimento afetaria a ocorrência de germinação na espiga (GE). Na safra 2021 não foi possível observar qualquer redução na porcentagem de grãos germinados na espiga após chuva simulada por nebulização, visto que as médias de grãos germinados foram acima de 82,13% considerando as duas cultivares, não apresentando efeito significativo para a interação entre épocas x doses ou para os fatores isolados (Tabela 5).



**Tabela 5** - Significância (p-valor) da análise de variância para as características de germinação na espiga e qualidade de grãos, avaliadas nas cultivares de trigo IPR Panaty e IPR Potyporã, em resposta a doses e épocas de aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina – PR, Safras 2021 e 2022.

| Fonte de variação                | GE     | M1000  | M1000neb | PH     | PHneb  |
|----------------------------------|--------|--------|----------|--------|--------|
| <b>IPR Panaty - Safra 2021</b>   |        |        |          |        |        |
| Época (E)                        | 0,818  | 0,675  | 0,970    | 0,072  | 0,176  |
| Dose (D)                         | 0,124  | 0,500  | 0,215    | 0,305  | 0,282  |
| Bloco                            | 0,029  | 0,056  | 0,481    | 0,446  | 0,241  |
| E × D                            | 0,786  | 0,407  | 0,567    | 0,572  | 0,164  |
| Fatorial x Adicional             | 0,372  | 0,190  | 0,356    | 0,142  | 0,446  |
| Média Fatorial                   | 90,448 | 29,943 | 26,774   | 77,723 | 67,882 |
| Média Controle                   | 92,875 | 30,715 | 27,803   | 76,858 | 67,141 |
| CV (%)                           | 4,974  | 3,229  | 6,881    | 1,244  | 2,379  |
| <b>IPR Panaty - Safra 2022</b>   |        |        |          |        |        |
| Época (E)                        | 0,105  | 0,637  | 0,981    | 0,017  | 0,184  |
| Dose (D)                         | 0,489  | 0,405  | 0,146    | 0,239  | 0,584  |
| Bloco                            | 0,034  | 0,559  | <0,001   | 0,282  | 0,160  |
| E × D                            | 0,633  | 0,375  | 0,864    | 0,060  | 0,446  |
| Fatorial x Adicional             | 0,489  | 0,077  | 0,152    | 0,561  | 0,857  |
| Média Fatorial                   | 82,139 | 33,399 | 31,537   | 76,275 | 72,080 |
| Média Controle                   | 85,556 | 34,865 | 34,811   | 76,600 | 71,893 |
| CV (%)                           | 9,957  | 4,031  | 11,802   | 1,219  | 2,404  |
| <b>IPR Potyporã - Safra 2021</b> |        |        |          |        |        |
| Época (E)                        | 0,660  | 0,843  | 0,962    | 0,016  | 0,058  |
| Dose (D)                         | 0,105  | 0,757  | 0,532    | 0,016  | 0,184  |
| Bloco                            | 0,239  | 0,349  | 0,927    | 0,429  | 0,147  |
| E × D                            | 0,861  | 0,354  | 0,189    | 0,111  | 0,053  |
| Fatorial x Adicional             | 0,160  | 0,810  | 0,503    | 0,312  | 0,182  |
| Média Fatorial                   | 85,125 | 32,839 | 30,010   | 77,085 | 69,615 |
| Média Controle                   | 89,625 | 33,014 | 29,414   | 76,608 | 68,657 |
| CV (%)                           | 6,158  | 3,683  | 4,933    | 1,013  | 1,694  |
| <b>IPR Potyporã - Safra 2022</b> |        |        |          |        |        |
| Época (E)                        | 0,004  | 0,461  | 0,271    | 0,003  | 0,266  |
| Dose (D)                         | <0,001 | 0,072  | 0,340    | 0,570  | 0,012  |
| Bloco                            | <0,001 | <0,001 | 0,006    | 0,278  | 0,001  |
| E × D                            | 0,067  | 0,625  | 0,939    | 0,361  | 0,266  |
| Fatorial x Adicional             | 0,013  | 0,258  | 0,840    | 0,556  | 0,192  |
| Média Fatorial                   | 44,299 | 39,170 | 38,563   | 78,269 | 75,570 |
| Média Controle                   | 59,972 | 39,975 | 38,326   | 78,417 | 74,308 |
| CV (%)                           | 22,120 | 2,995  | 5,086    | 0,534  | 2,106  |

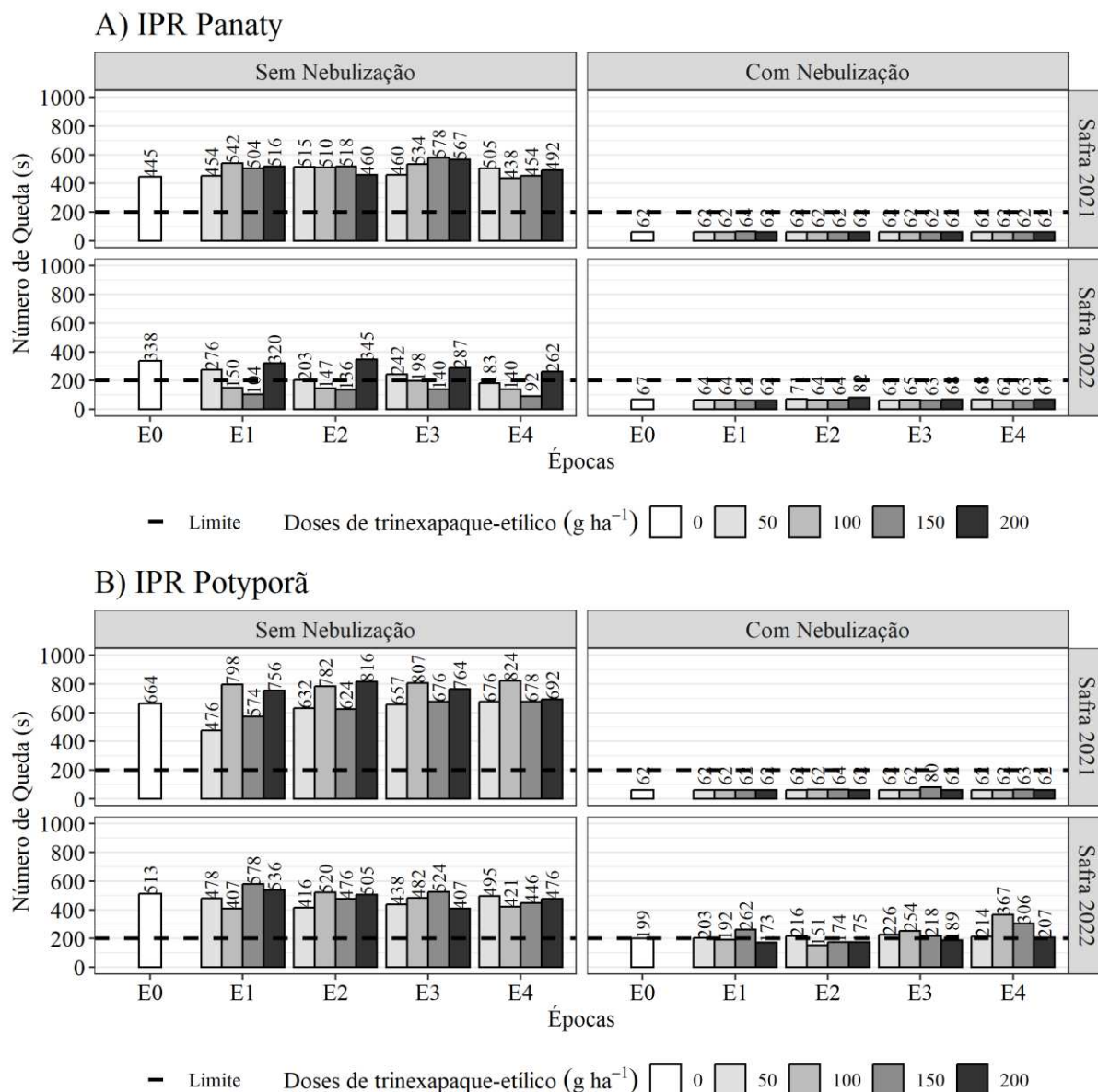
n.s., \*\* e \* = não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro pelo teste-F, respectivamente. GE, germinação na espiga após simulação de chuva por nebulização (%); PH, peso hectolítrico (kg hL<sup>-1</sup>); PHneb, peso hectolítrico após a nebulização (kg hL<sup>-1</sup>); M1000, massa de mil grãos (g); M1000neb, massa de mil grãos após a nebulização (g).

Isto se correlacionou aos efeitos observados para o número de queda (*falling number*) após simulação de chuva por nebulização (NQneb) (Figura 6A e 6B), com valores médios de 62 segundos, o qual é o mínimo para essa avaliação,

demonstrando alta atividade da enzima alfa amilase e, conseqüentemente, alta presença de grãos germinados.

O número de queda sem efeito da nebulização (NQ) de todas as épocas e doses da cultivar IPR Panaty na safra 2021 e da IPR Potyporã nas safras 2021 e 2022, apresentaram médias superiores a 400 segundos, ou seja, antes dos efeitos da chuva simulada (NQneb) a farinha integral obtida dos grãos estava compatível com a de trigo melhorador (NQ mínimo de 250 segundos), conforme estabelecido pelo MAPA (2010) (Figura 6A e 6B). Entretanto, para a cultivar IPR Panaty os valores de NQ na safra 2022, provenientes das espigas colhidas a campo e sem efeito de nebulização, apresentaram variações nas épocas e doses, com valores abaixo do limite mínimo de NQ de 200 segundos (Figura 6A), possivelmente devido a ocorrência de acamamento nesta cultivar, a qual resultou em reflexos negativos na qualidade tecnológica da farinha de seus grãos.

Na safra 2022 novamente os valores de GE e NQneb da cultivar IPR Panaty demonstraram alta germinação dos grãos de trigo, algo esperado visto que essa é a cultivar suscetível à germinação em pré-colheita. Por outro lado, na safra 2022 a cultivar IPR Potyporã, com moderada resistência à germinação pré-colheita, demonstrou resposta significativa tanto para épocas quanto para doses de trinexapaque-etílico (Tabela 5). Para o fator época verificou-se que a E4 (estádio final do grão leitoso) foi a mais eficiente na redução da GE, diferindo do tratamento controle (testemunha) (Tabela 4). Com relação a doses, houve ajuste a regressão quadrática, com ponto máximo de redução na dose de 176 g i.a. ha<sup>-1</sup>, resultando na redução de 40% de grãos germinados entre essa dose e o tratamento controle, além disso, as doses 150 e 200 g i.a. ha<sup>-1</sup> diferiram do tratamento controle pelo teste de Dunnet (Figura 5B). Relacionado a isso, as doses 100 e 150 g i.a. ha<sup>-1</sup> da E4, foram as que apresentaram os maiores valores de NQneb, com 367 e 306 s respectivamente (Figura 6B), demonstrando menor presença de grãos germinados em relação a todas as demais épocas e doses estudadas. Ainda, os valores de NQneb obtidos são acima do limite mínimo de 250s e, portanto, compatíveis com os valores de trigo melhorador, conforme o MAPA (2010). Este é o primeiro estudo que fornece evidências sobre o potencial de uso do trinexapaque-etílico visando a redução da germinação na espiga de grãos de trigo em condições de chuva simulada.



**Figura 6** - Número de queda em segundos (s) obtido dos grãos das cultivares de trigo IPR Panaty (A) e IPR Potyporã (B) em resposta a épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico. Safras 2021 e 2022, Londrina - PR.

Limite: Número de Queda de 200 segundos (s). Épocas de aplicação de trinexapaque-etílico (g i.a. ha<sup>-1</sup>): E0, Controle (testemunha sem aplicação); E1, estágio de 1º nó visível, 2º perceptível; E2, estágio de espigamento; E3, estágio de grão aquoso e E4, estágio final de grão leitoso.

Para a massa de mil grãos sem (M1000) e após os efeitos da chuva simulada por nebulização (M1000neb), não foi observado diferença significativa entre as fontes de variação estudadas nas duas safras e cultivares (Tabela 5).

O peso hectolítrico sem efeito da nebulização (PH) (Tabela 5) apresentou resposta significativa para época na safra 2022 para a cultivar IPR Panaty; e nas safras 2021 e 2022 para a IPR Potyporã, e para doses na safra 2021 para a IPR Potyporã (Figura 5C). O PH dos grãos após a chuva simulada por nebulização

(PHneb) obteve resposta significativa apenas para o fator doses na safra 2022 da cultivar IPR Potyporã (Tabela 5). Entretanto, de forma geral a amplitude de variação dos resultados dessas análises foi inferior a  $2 \text{ kg hL}^{-1}$ , não sendo determinante para uma possível mudança da classe de tipificação dos grãos de trigo. O PH avaliado nas safras 2021 e 2022 de ambas as cultivares, e o PH da cultivar IPR Potyporã na safra 2022 foram classificados como trigos de classes tipo 1 e 2 ( $78$  a  $75 \text{ kg hL}^{-1}$ ). O PHneb das safras 2021 e 2022 da cultivar IPR Panaty, e da safra 2021 da IPR Potyporã foram classificados como fora de tipo, por terem valores abaixo de  $72 \text{ kg hL}^{-1}$ , conforme os padrões mínimos estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2010).

O PH do trigo é um parâmetro utilizado para a sua classificação e comercialização, sendo influenciado pela uniformidade, formato, densidade, tamanho, presença de impurezas e grãos quebrados na amostra. Nesse sentido, quanto mais elevado o peso hectolítrico, maior o rendimento da farinha, e com isso, da qualidade do produto (Nunes *et al.*, 2011).

Diante do exposto, verificou-se que as condições climáticas diferentes em cada safra resultaram em resultados variáveis, sendo possível observar maior intensidade de redução de altura das plantas na safra 2021, a qual foi mais seca nos estádios anteriores a época de aplicação E1, e aumento do DEE nas maiores doses, mas sem reflexos negativos no intervalo de doses recomendado pelo fabricante do TE ( $100$  a  $125 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ ). O TE reduziu a porcentagem de acamamento da cultivar IPR Panaty na safra 2022. Apesar de ambas as cultivares estudadas serem classificadas como moderadamente resistentes ao acamamento, a cultivar IPR Panaty apresentou maior porcentagem de acamamento em relação a IPR Potyporã.

Além disso, para a cultivar IPR Potyporã na safra 2022, dentre as épocas E2, E3 e E4 estudadas, à época E4 demonstrou não interferir negativamente nos componentes produtivos e ser a mais responsiva e com potencial para ser explorada visando redução da germinação de grãos na espiga em pré-colheita, com reflexos positivos nas avaliações de GE e NQ, com redução de 40% de grãos germinados na dose de  $176 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ , e também no incremento de produtividade. Esse é um relato pioneiro na literatura de uma possível utilização do trinexapaque-etílico como ferramenta de manejo para reduzir os impactos negativos dos grãos germinados na qualidade tecnológica de grãos de trigo.

Novos estudos focando na época E4, no ajuste de doses de TE, e em condições reais de chuva em safras de diferentes anos poderiam aprimorar as melhores formas de utilização desse ingrediente ativo visando recomendações para manter a qualidade dos grãos de trigo quando cultivado em ambientes favoráveis e/ou com uso de cultivares propensas à germinação em pré-colheita. Além disso, verifica-se a importância da verificação de resíduos químicos nos grãos colhidos, identificando se o tempo entre a aplicação e colheita representa um intervalo de segurança adequado para ocorrer a metabolização do produto aplicado.

### 3.6 CONCLUSÕES

Em termos agronômicos pode-se observar que o TE reduziu a altura de planta na época E1, com maior eficácia conforme aumento das doses. Na E2 também foi observado redução do porte, porém com menor magnitude, e nenhum efeito para altura de planta nas épocas E3 e E4.

Em condições propícias ao acamamento verificadas somente na cultivar IPR Panaty foi possível observar redução deste problema com o incremento das doses de TE na E1.

Neste estudo não foi observado efeito significativo para época de aplicação, dose de TE ou sua interação para os componentes de produção NE (número de espigas por m<sup>2</sup>), NGE (número de grãos por espiga), M1000 (massa de mil grãos) nas épocas E1, E2 e E4. A época E2 refletiu negativamente no NGE na maior dose. O PH (peso hectolítrico) foi afetado pela época de aplicação no qual as épocas E2 e E3 apresentaram baixa magnitude de incremento.

A época E4 (estádio final de grão leitoso) demonstrou potencial a ser explorado como uma possível ferramenta na tolerância a germinação na espiga em pré-colheita e minimização de perdas da qualidade tecnológica de grãos de trigo.

### 3.7 REFERÊNCIAS

AACC - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 11.ed. Saint Paul, 2010.

BASSOI, M.C.; RIEDE, C.R.; CAMPOS, L.A.C.; FOLONI, J.S.S.; NASCIMENTO-JUNIOR, A.; ARRRUDA, K. M. A. Cultivares de trigo e tritcale BRS e IPR (Embrapa e IDR-Paraná). Londrina, ed. 1, 2022. 60p.

BAZZO J.H.B.; RIEDE, C.R.; ARRUDA, K.M.A.; CARDOSO, C.P.; FRANZONI, I.; FONSECA, I.C.B. e ZUCARELI, C. Performance of white oat cultivars in response to nitrogen fertilization and trinexapac-ethyl. **Semina: Ciências Agrárias**, v.40, n.5, p.2121-2136, 2019. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n5Supl1p2121>

Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia - CBPA. Informações técnicas para a cultura da aveia: XL Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia. Três de Maio: SETREM, 2021. 190p.

Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, CBPTT. Informações técnicas para trigo e triticale: 14ª reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. Castro, Fundação ABC e Biotrigo Genética. 1ed., 2022. 274p.

Companhia Nacional de Abastecimento. CONAB. Série histórica das safras 1976 a 2024. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/913-trigo>>. Acesso em 26 de Maio de 2024.

Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2018) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 7. ed. Rio de Janeiro.

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; SOUZA, L.T.D.; SOUZA, M.A.D.; CAMPANHARO, M.; GROSSI, J.A.S. Rates of nitrogen and growth retardant trinexapac-ethyl on wheat. **Ciência Rural**, v. 41, p. 2045-2052, 2011.

GUARIENTI, E.; PIRES, J.; CASTRO, R.L.; CUNHA, G.R.; VALENTINI, A.; ROSA, A. C.; CAIRÃO, E.; REIS, E.M.; FRANCO, F.A.; DALMAGO, G.A.; WAGNER, J.F.; OKUYAMA, L.A.; MOLSSATO, L.L.; MELLO, L.G.; SILVA, M.S.; BRISTOT, M.; SCHEEREN, P.L.; AIRES, R.F., TONON, V.D. Método para Avaliar a Germinação Pré-Colheita em Genótipos de Trigo: Desenvolvimento Analítico e Aplicação. Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (Documentos online 87). 2017. 46p.

KASPARY, T.E.; LAMEGO, F.P.; BELLÉ, C.; KULCZYNSKI, S.M. e PITTOL, D. Regulador de crescimento na produtividade e qualidade fisiológica de sementes de aveia branca. **Planta Daninha**, v. 33, n. 4, p. 739-750, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000400012>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. **Diário Oficial da União**, 1º dezembro. 2010. Seção 1, p. 2-4.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: Abrates. 2015.

NITSCHKE, P.R.; CARAMORI, P.H.; RICCE, W.S.; PINTO, L.F.D. Atlas climático do estado do Paraná. Londrina (PR): Instituto Agrônomo do Paraná, 2019. 210p.

NUNES, A.S.; SOUZA, L.C.F.; VITORINO, A.C.T.; MOTA, L.H.S. Adubos verdes e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo sob plantio direto. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, n. 4, p. 1375-1384, 2011. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n4p1375>

NUNES, P.H.M.P.; AQUINO, L.A.; XAVIER, F.O.; SANTOS, L.P.D.; MACHADO, L.G.; AQUINO, P.M. Effects of growth regulator and nitrogen on yield and lodging of irrigated wheat. ***Semina: Ciências Agrárias***, v. 37, n. 4, p. 1709-1720, 2016. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n4p1709>

OKUYAMA, L.A.; CARAMORI, P.H.; KOHLI, M.M. New microchondrometer to measure hectoliter weight in small samples of wheat. ***African Journal of Agricultural Research***, v. 15, n. 4, p. 524-530, 2020.

OKUYAMA, L.A.; JUNIOR, N.F.; CARAMORI, P.H.; KOHLI, M.M. Preharvest sprouting assessment in wheat genotypes influenced by temperature and degree days. ***Experimental Agriculture***, v. 54, n. 4, p. 483-490, 2017.

PAGLIOSA, E.E.; BENIN, G.; BIEZUS, E.; BECHE, E.; SILVA, C.L.; MARCHESE, J.A.; MARTIN, T.N. Trinexapac-ethyl e adubação nitrogenada na cultura do trigo. ***Planta Daninha***, v. 31, p. 623-630, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000300014>

PENCKOWSKI, L.H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Nitrogênio e redutor de crescimento em trigo de alta produtividade. ***Acta Scientiarum. Agronomy***, v. 31, n. 1, p. 473-479, 2009. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i3.1048>

PENCKOWSKI, L.H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Qualidade industrial do trigo em função do trinexapac-ethyl e doses de nitrogênio. ***Ciência e Agrotecnologia***, v. 34, n. 6, p. 1492-1499, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000600020>

R Core Team (2023) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org/>

SHIMIZU, G.D.; GONÇALVES, L.S.A. AgroReg: Main regression models in agricultural sciences implemented as an R Package. ***Scientia Agricola***, v. 80, 2023.

SHIMIZU, G.D.; MARUBAYASHI, R.Y.; GONCALVES, L.S. AgroR: Experimental Statistics and Graphics for Agricultural Sciences. 2023. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/AgroR/index.html>

STEFEN, D.L.V.; SOUZA, C.A.; COELHO, C.M.M.; TORMEN, M.E.; ZANESCO, P.R.; CASA, R.T.; SANGOI, L.; NUNES, F.R. Nitrogen management associated with growth retardants in wheat cv. Mirante. ***Revista de Ciências Agroveterinárias***, v. 13, n. 1, p. 30-39, 2014.

SWOISH, M.; LEME-FILHO, J.F.C.; REITER, M.; STEWART, R.; THOMASON, W. Trinexapac-ethyl rate and timing impact on malt barley production in Virginia. ***Crop, Forage & Turfgrass Management***, v. 7, n. 2, p. 1-7, 2021.

ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 331-339, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582007000200013>

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

ZAGONEL, J.; VENANCIO, W.S.; KUNZ, R.P. Efeito de regulador de crescimento na cultura de trigo submetido a diferentes doses de nitrogênio e densidades de plantas. **Planta Daninha**, v. 20, p. 471-476, 2002a.

ZAGONEL, J.; VENANCIO, W.S.; KUNZ, R.P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidades de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, v. 32, p. 25-29, 2002b. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000100005>

ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, v. 25, p. 331-339, 2007.



## 4. ARTIGO B

### POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE TRIGO EM RESPOSTA A ÉPOCAS E DOSES DE APLICAÇÃO DE TRINEXAPAQUE-ETÍLICO

#### 4.1 RESUMO

A germinação de trigo em pré-colheita é um dos principais gargalos da produção tritícola, visto que influencia negativamente na qualidade das sementes e grãos. Nesse sentido, ainda são escassos os estudos com reguladores vegetais buscando reduzir esse problema e investigando sua influência na fisiologia da semente. Dessa forma, objetivou-se avaliar o potencial fisiológico de sementes de cultivares de trigo em resposta a épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico (TE). O experimento a campo foi conduzido nas safras 2021 e 2022 em Londrina-PR, utilizando as cultivares de trigo IPR Panaty e IPR Potyporã. O delineamento foi de blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial  $4 \times 4 + 1$ , sendo quatro doses de TE (50, 100, 150 e 200 g ha<sup>-1</sup>), aplicadas em quatro épocas (E1: entre o 1º nó visível e o 2º nó perceptível; E2: espigamento; E3: grão em estado aquoso; E4: fim do estado de grão leitoso); e o controle (testemunha), sem aplicação do TE. Após o processo de colheita, as sementes foram avaliadas por meio dos testes de germinação e de vigor (primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, emergência de plântulas em areia, comprimento e massa seca de plântulas). Verificou-se efeitos positivos para a E4 nos testes de germinação, envelhecimento acelerado e emergência de plântula em areia em relação as demais épocas, e maior redução da qualidade fisiológica das sementes na época E1, com redução na germinação e no vigor pela primeira contagem e comprimento das plântulas. Dessa forma, concluiu-se que as doses crescentes de TE devem ser utilizadas com cautela na época E1, principalmente nas maiores, por outro lado, a aplicação na E4 apresenta potencial positivo na obtenção de sementes de qualidade.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L.; qualidade de sementes; redutor de crescimento; testes de vigor.

## 4.2 ABSTRACT

Pre-harvest wheat germination is one of the main bottlenecks in wheat production, as it negatively influences seed and grain quality. In this sense, studies with plant growth regulators seeking to reduce this problem and investigate their influence on seed physiology are still scarce. Thus, the aim of this study was to evaluate the physiological potential of wheat cultivar seeds in response to times and doses of trinexapaque-ethyl (TE) application. The field experiment was conducted in the 2021 and 2022 harvests in Londrina-PR, using the wheat cultivars IPR Panaty and IPR Potyporã. The experimental design was randomized blocks, with three replications, in a 4 x 4 + 1 factorial scheme, with four TE doses (50, 100, 150 and 200 g ha<sup>-1</sup>), applied at four times (E1: between the 1<sup>st</sup> visible node and the 2<sup>nd</sup> perceptible node; E2: earing; E3: grain in aqueous state; E4: end of milky grain state); and the control (control), without TE application. After the harvest process, the seeds were evaluated by means of germination and vigor tests (first germination count, accelerated aging, seedling emergence in sand, seedling length and dry mass). Positive effects were observed for E4 in the germination, accelerated aging and seedling emergence tests in sand in relation to the other times, and a greater reduction in the physiological quality of the seeds at time E1, with reduction in germination and vigor by the first count and seedling length. Thus, it was concluded that increasing doses of TE should be used with caution in the E1 period, especially in the larger ones, on the other hand, the application in E4 presents positive potential in obtaining quality seeds.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L.; seed quality; growth reducer; vigor tests.

### 4.3 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum*) é a principal cultura de inverno produzida no país (CONAB, 2024). Sua produção e produtividade dependem diretamente das práticas de manejo adotadas, incluindo o uso de sementes com elevada qualidade (Abati *et al.* 2017), manejo do solo, insetos-pragas, plantas daninhas, doenças, adubação, cuidados com acamamento de plantas e germinação na pré-colheita (Cunha; Caierão, 2024).

O acamamento de plantas é um dos principais gargalos das culturas de inverno. Como opção de manejo, tem-se a utilização de reguladores de crescimento vegetal que atuam reduzindo a altura das plantas, e, com isso, a possibilidade de acamamento (Espindula *et al.*, 2011; Penckowski *et al.*, 2010). No Brasil, o principal produto utilizado é a base do ingrediente ativo trinexapaque-etílico, composto por inibidores do hormônio vegetal giberelina presente na planta.

Ainda são escassos os estudos com relação aos reflexos do trinexapaque-etílico aplicado entre o 1° e 2° nó visível visando a redução de altura e acamamento das plantas na qualidade de sementes de trigo. A ocorrência de acamamento de plantas pode estar relacionada a redução da qualidade fisiológica das sementes visto que a quebra/rompimento dos vasos condutores, devido a curvatura do colmo da planta, dificulta o fluxo de fotoassimilados para as sementes em formação e enchimento. Além disso, caso as espigas fiquem próximas ao solo, em condições mais úmidas e sujeita a doenças, pode resultar na redução da qualidade fisiológica e sanitária das sementes.

A divergência nos resultados de pesquisas dificulta o entendimento se o produto prejudica ou não a qualidade das sementes. Faria *et al.* (2022) observaram redução do comprimento e massa seca de plântulas de trigo, mas não observaram efeitos na germinação. Em aveia, Bazzo *et al.* (2018) e Kaspary *et al.* (2015) verificaram redução da qualidade fisiológica das sementes. Por outro lado, Koch *et al.* (2017) constataram aumento da qualidade fisiológica das sementes de trigo. Os efeitos desse aumento ou redução da qualidade das sementes podem estar relacionados a época de aplicação, presença de acamamento e sensibilidade de cada cultivar a dose aplicada, sendo necessário investigações dessas causas para maior segurança de aplicação visando a produção de sementes de qualidade.

Outro gargalo da produção tritícola brasileira é a germinação em pré-colheita, em que ocorre a germinação das sementes na espiga ainda no campo, devido a diferentes fatores associados a genótipo e condições ambientais favoráveis. Como alternativa, programas de melhoramento genético buscam genótipos que tenham maior tolerância a essa germinação em pré-colheita, mas este ainda continua sendo um problema recorrente nas lavouras do país (Joris *et al.*, 2022; Taiz *et al.*, 2017).

Nesse sentido, faltam estudos que relacionem se a aplicação de trinexapaque-etílico em estádios de formação das sementes tem potencial para ser utilizada visando a redução da germinação na espiga, visto que o produto é a base de inibidores da giberelina, influenciando no balanço hormonal entre a giberelina (GA) e o ácido abscísico (ABA), os quais atuam na regulação da germinação ou dormência das sementes (Marcos-Filho, 2015). Ainda, compreender também seus efeitos na qualidade fisiológica das sementes.

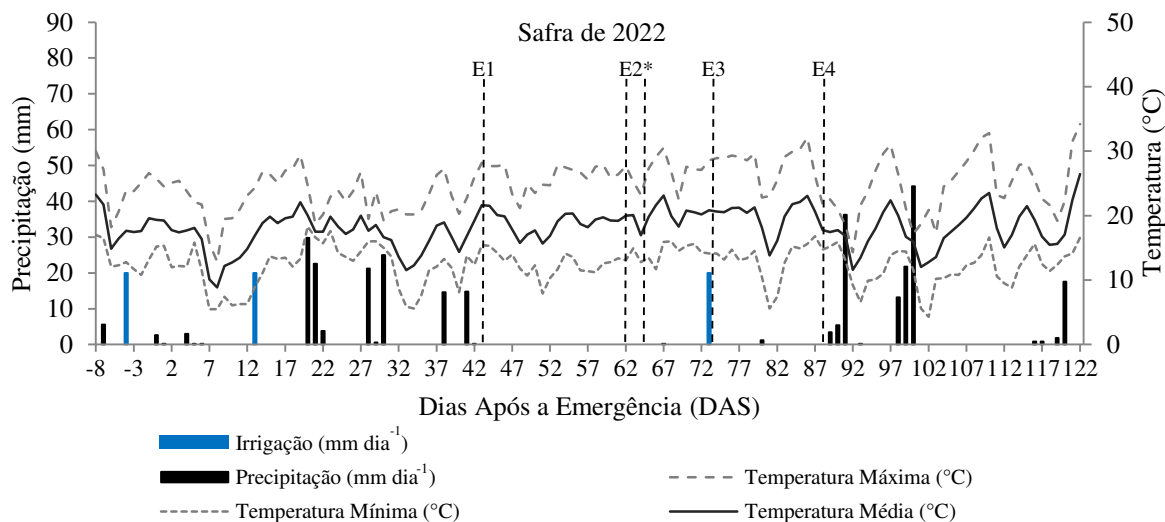
Diante do exposto, objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes de em resposta a doses e épocas de aplicação do regulador de crescimento trinexapaque-etílico em cultivares de trigo.

#### 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação de Pesquisa do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER (IDR-Paraná), situada em Londrina, Paraná, Brasil (latitude 23°22'S; longitude 51°10'W; 585 m altitude). O clima é classificado como Cfa (clima subtropical úmido), segundo classificação de Köpen, com precipitação média de 300 a 400 mm no outono e de 200 a 300 mm no inverno; temperatura mínima de 16 a 17 °C no outono e 12 a 13 °C no inverno; e temperatura máxima de 27 a 28 °C no outono e 24 a 25 °C no inverno (Nitsche *et al.*, 2019).

As temperaturas máximas e mínimas (°C), as precipitações pluviométricas e irrigação (mm dia<sup>-1</sup>) registradas durante os períodos de condução dos experimentos encontram-se na Figura 7. Após a semeadura realizou-se irrigação na área (25 mm dia<sup>-1</sup>), e também em outros dois momentos ao longo do ciclo da cultura, totalizando ao final 351,2 mm. A média das temperaturas máximas e mínimas foram de 24,8 e 12,4 °C, respectivamente. Além disso, não ocorreram temperaturas próximas a 0 °C, dessa

forma, a formação das sementes das cultivares de trigo não foram prejudicadas por problemas relacionados a geadas.



**Figura 7** - Dados de precipitação pluvial, irrigação (mm dia<sup>-1</sup>), temperatura máxima, mínima e média (°C) ocorridas durante o período de condução do experimento. Safra 2022, Londrina - PR.

Épocas de Aplicação do trinexapaque etílico (g ha<sup>-1</sup>) nas cultivares de trigo IPR Panaty e IPR Potyporã: E1: Estádio de alongamento do colmo, entre o 1º nó do colmo visível e 2º nó perceptível; E2: Espigamento; E2\*: 62 DAS (IPR Panaty) e 65 DAS (IPR Potyporã); E3: Estádio de grão aquoso; e E4: Estádio final de grão leitoso.

As cultivares de trigo IPR Panaty e IPR Potyporã foram avaliadas em dois experimentos independentes. A cultivar IPR Panaty é suscetível à germinação em pré-colheita e moderadamente resistente ao acamamento, com ciclo de 118 dias, já a cultivar IPR Potyporã é moderadamente resistente à germinação em pré-colheita e ao acamamento e ciclo de 122 dias (Basso *et al.*, 2022).

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições a campo, em esquema fatorial 4 x 4 + 1, sendo quatro doses do regulador de crescimento trinexapaque-etílico (MODDUS®), 50, 100, 150 e 200 g ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 200, 400, 600 e 800 mL ha<sup>-1</sup>; quatro épocas de aplicação, E1: 1ª época no estágio de alongamento do colmo, entre o 1º nó do colmo visível e 2º nó perceptível ao tato (Z31-Z32); E2: 2ª época no espigamento (Z54); E3: a 3ª época no início de formação do grão (estado aquoso, Z71); e E4: 4ª época no final de desenvolvimento do grão leitoso (Z77-Z83), conforme a escala de Zadoks *et al.* (1974); e um tratamento adicional controle, representando a testemunha sem aplicação do produto.

A semeadura mecanizada foi realizada dentro do zoneamento recomendado para a cultura do trigo no Paraná. Na safra 2021 a semeadura foi realizada em 24/05/2021, com emergência de plântulas em 31/05/2021 e colheita em 24/09/2021 para as duas cultivares. Na safra 2022, a cultura foi semeada em 02/05/2022, com emergência de plântulas em 11/05/2022 e colheita em 05/09/2022 (cultivar IPR Panaty) e 09/09/2022 (cultivar IPR Potyporã).

Após a colheita mecanizada, a qualidade fisiológica das sementes colhidas foi avaliada em 12/2022 e 01/2024, no Laboratório de Análise de Sementes do IDR-Paraná, Londrina-PR, pelos testes de germinação (primeira e segunda contagem), envelhecimento acelerado, emergência de plântulas em areia, comprimento e massa seca de plântulas. Para cada teste foram utilizadas duas repetições por parcela de campo, totalizando seis repetições por tratamento. Todas as sementes foram desinfestadas antes da montagem dos testes utilizando hipoclorito de sódio a 1%, deixando-as imersas em solução com água destilada por quatro minutos e em seguida lavadas em água corrente por um minuto.

*Teste de germinação:* composto por 50 sementes por repetição, colocadas de maneira uniforme entre três folhas de papel do tipo germitest (duas folhas sob as sementes e uma sobre) e umedecidas com volume de água destilada correspondente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Após isto, foram confeccionados rolos e colocados em câmara de germinação à temperatura de 20 °C, com luz constante. Aos quatro dias foi avaliado o vigor das sementes pela primeira contagem do teste de germinação (PCG). Aos oito dias foi analisada a germinação das sementes (GER), conforme o número final de plântulas normais e, também, quantificado o número de plântulas anormais (ANORM) e de sementes mortas (MORTAS) (MAPA, 2009).

*Envelhecimento acelerado:* Uma camada uniforme de sementes foi distribuída sob tela de alumínio alocada em caixas gerbox, com 40 mL de água em seu interior. As caixas foram mantidas em câmara BOD, a 43 °C por 48 horas. Decorrido esse período, foi instalado o teste de germinação a 20 °C. A contagem do número de plântulas normais foi realizada após quatro dias (Krzyzanowski *et al.*, 2020).

*Emergência de plântulas em areia:* Conduzido com 50 sementes por repetição, semeadas em substrato areia a 3 cm de profundidade, colocadas em bandejas plásticas. O teste foi conduzido em casa de vegetação e a umidade mantida por meio de irrigações diárias de acordo com a necessidade da cultura. Após seis (EMA-6) e

doze (EMA-12) dias de semeadura foi contabilizado a porcentagem de plântulas emergidas, e o resultado expresso em porcentagem (Krzyzanowski *et al.*, 2020).

*Comprimento de plântulas:* composto por 20 sementes por repetição, as quais foram alocadas com a extremidade da radícula voltada para baixo, no terço superior do papel germitest previamente umedecido na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco. As amostras foram enroladas e colocadas verticalmente em câmara de germinação à temperatura de 20 °C, sem luz, por cinco dias. Após este período foram medidos, separadamente, o comprimento da parte aérea (CPA) e da raiz primária (CRA) das plântulas normais, e também obtido o comprimento total das plântulas (CTOTAL), conforme as recomendações de Krzyzanowski *et al.* (2020).

*Massa seca de plântulas:* Determinada de forma separada para a parte aérea (MSPA), raiz primária (MSRA) e total das plântulas (MSTOTAL) utilizando as plântulas do teste anterior, com a remoção dos resquícios do tecido de reserva. Estas foram levadas para estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 80 °C durante 24 h. Os resultados foram obtidos pela divisão da massa da amostra pelo número de plântulas normais e expresso em mg plântula<sup>-1</sup> (Krzyzanowski *et al.*, 2020).

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade dos erros, homogeneidade de variância dos resíduos e independência dos erros. Atendendo aos pressupostos, os dados foram submetidos a análise de variância e se significativo para o efeito isolado de época, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Quando significativo para efeito isolado de dose ou interação, foi realizado a análise de regressão polinomial a 5% de significância. Para comparação da testemunha (controle) com os demais tratamentos foi realizado o teste de Dunnett a 5% de significância. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software R (R Core Team, 2023), usando os pacotes AgroR (Shimizu *et al.*, 2023) e AgroReg (Shimizu; Gonçalves, 2023).

#### 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a análise de variância para a cultivar IPR Panaty (Tabela 6), as variáveis germinação (GER), sementes mortas (MORTAS) e vigor pela primeira contagem da germinação (PCG) e envelhecimento acelerado 48h/43° (EA) apresentaram significância somente para o efeito de época. Nesse sentido, verificou-se maiores incrementos na germinação das sementes obtidas da época E4, a qual

não diferiu das épocas E2 e E3, e menores porcentagens na E1. Esses dados estão correlacionados com a quantidade de sementes mortas, as quais foram menores nas épocas E4, E2 e E3, respectivamente, e maiores na E1. Pelos testes de vigor (PCG e EA) também foi possível verificar essa diferenciação entre as épocas, no qual a E4 foi a única a manter os valores de germinação acima de 80% no EA e a E1 a que mais reduziu o vigor das sementes em ambos os testes, com perda de 12% de vigor pelo EA entre as épocas E1 e E4.

**Tabela 6** - Significância (p-valor) dos componentes de vigor e germinação avaliados nas cultivares de trigo IPR Panaty e IPR Potyporã em resposta a épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico. Safra 2022, Londrina – PR.

| FV                   | IPR Panaty |          |        |         |          |        |        |
|----------------------|------------|----------|--------|---------|----------|--------|--------|
|                      | PCG        | GERM     | ANOR   | MORTAS  | EA       | EMA-6  | EMA-12 |
| Época (E)            | 0,004      | 0,013    | 0,585  | 0,014   | 0,037    | 0,088  | 0,156  |
| Dose (D)             | 0,205      | 0,166    | 0,068  | 0,712   | 0,142    | 0,314  | 0,367  |
| Bloco                | 0,908      | 0,741    | 0,983  | 0,64    | 0,003    | 0,900  | 0,926  |
| E × D                | 0,516      | 0,456    | 0,735  | 0,137   | 0,323    | 0,157  | 0,195  |
| Fatorial x Adicional | 0,634      | 0,591    | 0,518  | 0,844   | 0,946    | 0,812  | 0,788  |
| Média Fatorial       | 82,854     | 87,104   | 5,188  | 7,708   | 77,167   | 83,188 | 85,625 |
| Média Controle       | 84,500     | 88,667   | 4,083  | 7,250   | 77,500   | 84,250 | 86,750 |
| CV (%)               | 6,930      | 5,544    | 55,473 | 50,430  | 10,720   | 8,923  | 8,144  |
| E1                   | 77,10 b    | 83,00 b  | -      | 11,08 a | 71,20 b  | -      | -      |
| E2                   | 84,50 a    | 88,30 ab | -      | 6,58 b  | 77,20 ab | -      | -      |
| E3                   | 84,20 a    | 87,60 ab | -      | 7,00 ab | 79,20 ab | -      | -      |
| E4                   | 85,70 a    | 89,50 a  | -      | 6,17 b  | 81,10 a  | -      | -      |

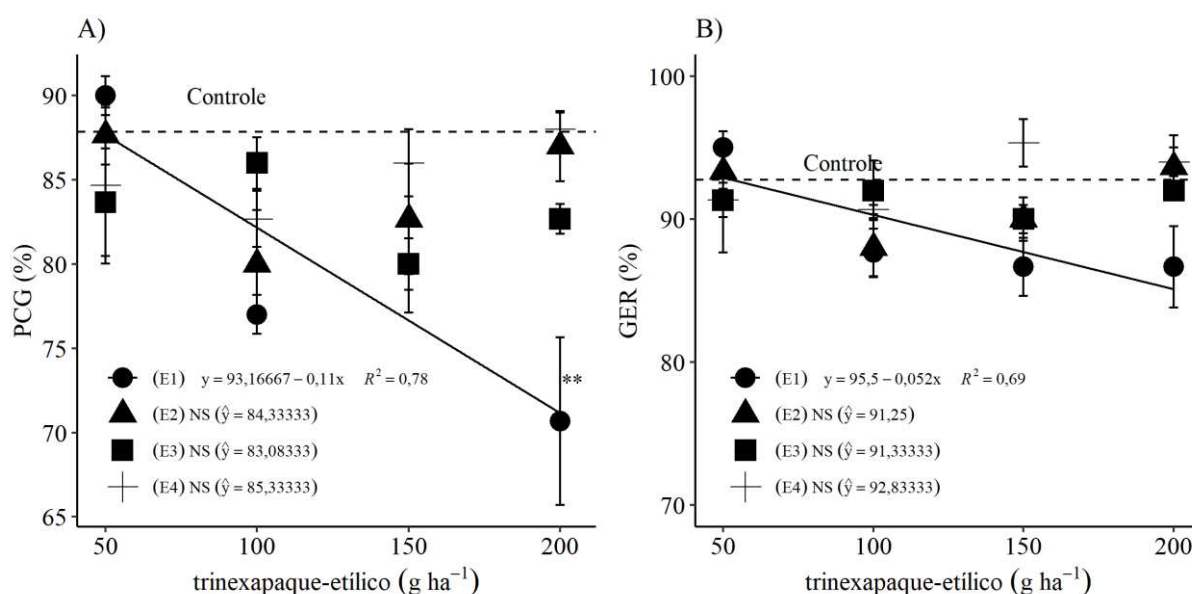
  

| FV                   | IPR Potyporã |        |         |        |         |          |          |
|----------------------|--------------|--------|---------|--------|---------|----------|----------|
|                      | PCG          | GERM   | ANOR    | MORTAS | EA      | EMA-6    | EMA-12   |
| Época (E)            | 0,016        | 0,038  | 0,044   | 0,441  | 0,226   | p<0,001  | 0,002    |
| Dose (D)             | 0,034        | 0,089  | 0,436   | 0,058  | 0,052   | 0,720    | 0,690    |
| Bloco                | 0,712        | 0,362  | 0,072   | 0,070  | p<0,001 | 0,192    | 0,458    |
| E × D                | 0,005        | 0,039  | 0,185   | 0,140  | 0,408   | 0,637    | 0,849    |
| Fatorial x Adicional | 0,082        | 0,375  | 0,590   | 0,424  | 0,349   | 0,642    | 0,457    |
| Média Fatorial       | 83,042       | 91,104 | 5,333   | 3,562  | 67,208  | 88,188   | 90,292   |
| Média Controle       | 87,833       | 92,750 | 4,583   | 2,667  | 69,917  | 89,417   | 92,250   |
| CV (%)               | 5,372        | 3,374  | 43,763  | 52,954 | 7,113   | 4,982    | 4,836    |
| E1                   | -            | -      | 6,67 a  | -      | -       | 85,80 bc | 88,30 b  |
| E2                   | -            | -      | 5,50 ab | -      | -       | 84,40 c  | 87,20 b  |
| E3                   | -            | -      | 5,33 ab | -      | -       | 90,50 ab | 91,80 ab |
| E4                   | -            | -      | 3,83 b  | -      | -       | 92,00 a  | 93,80 a  |

FV, fontes de variação; PCG, primeira contagem de germinação; GER, germinação; ANOR, plântulas anormais; MORTAS, sementes mortas; EA, envelhecimento acelerado (48h). EMA-6 e EMA-12, emergência de plântulas em areia após seis e doze dias de semeadura, respectivamente. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Épocas de Aplicação: E1, estágio de alongamento do colmo, entre o 1º nó visível e 2º nó perceptível; E2, estágio de espigamento; E3, estágio de grão aquoso; e E4, estágio final de grão leitoso.



Para a cultivar IPR Potyporã (Tabela 6), verificou-se resposta significativa para efeito de interação entre épocas e doses para as variáveis PCG e GER, e efeito isolado de época para plântulas anormais (ANOR) e emergência em areia (EMA-6 e EMA-12). Conforme a Figura 8A e 8B, tanto para a PCG quanto para a GER, somente a época E1 apresentou regressão significativa com ajuste linear decrescente, dessa forma, conforme o aumento das doses de trinexapaque etílico observa-se redução do vigor e viabilidade das sementes para essa cultivar, diferindo da testemunha (controle) pelo teste de Dunnet na maior dose (200 g i.a. ha<sup>-1</sup>) (Figura 8A), porém, ressalta-se que essa dose está acima da dose recomendada pelo fabricante do produto que é de 100 a 125 g i.a. ha<sup>-1</sup>. Relacionado a isso, verificou-se menor número de plântulas anormais na E4, sem diferir das E3 e E2, respectivamente, e com maior anormalidade de plântulas na E1. As maiores porcentagens de emergência de plântulas em areia foram obtidas nas E4 e E3, com valores acima de 90%, mas em contrapartida, as épocas E1 e E2 apresentaram as menores percentuais de emergência, com maior discrepância aos seis dias, sendo mais uma ferramenta que auxiliou na identificação de diferenças de vigor em trigo para efeito de épocas.



**Figura 8** - Primeira contagem de germinação - PCG (%) (A) e Germinação (%) (B) da cultivar de trigo IPR Potyporã em resposta a épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico (g i.a. ha<sup>-1</sup>). Safra de 2022, Londrina - PR.

\*\* = significativo a 1% de probabilidade de erro ao comparar o controle com os demais tratamentos pelo teste de Dunnet. Épocas de Aplicação: E1, estágio de alongamento do colmo, entre o 1° nó visível e 2° nó perceptível; E2, estágio de espigamento; E3, estágio de grão aquoso; e E4, estágio final de grão leitoso.

As duas cultivares apresentaram germinação acima do padrão mínimo de 80% para a comercialização de sementes de trigo (MAPA, 2013), tanto pela GER feita em rolo de papel quanto para a emergência em areia aos seis (EMA-6) e doze dias (EMA-12) (Tabela 6), demonstrando que as sementes apresentavam elevada qualidade fisiológica. Entretanto, assim como demonstrado nos resultados anteriores, a aplicação do regulador de crescimento trinexapaque-etílico nas épocas E1 e E2 impactou negativamente no vigor das sementes.

Apesar de ter sido verificada redução da germinação e vigor pela PCG para a E1 e em doses crescentes do trinexapaque-etílico, em outro estudo Faria *et al.* (2022) ao estudaram a aplicação de trinexapaque-etílico nas doses de 0, 50 e 100 g ha<sup>-1</sup> entre o 1° e 2° nó visível nas cultivares de trigo WT 15008 e WT 15025, cultivadas na região de Londrina e Ponta Grossa, Paraná, verificaram que a aplicação do produto não interferiu na germinação das sementes. No trabalho desses autores, as porcentagens de acamamento de plantas nos dois ambientes foram inferiores a 12% em função da aplicação do trinexapaque-etílico.

No trabalho de Souza *et al.* (2010), avaliaram a aplicação de trinexapaque-etílico nas doses 62,5, 125 e 187,5 g ha<sup>-1</sup>, em dois momentos de aplicação, quando as plantas estavam com o 1° e com o 2° nó visível na cultivar de trigo Pioneiro. Conforme os resultados, não houve acamamento das plantas e, as doses e épocas de aplicação não afetaram a qualidade fisiológica das sementes. Porém, observa-se que as sementes avaliadas nesse estudo já apresentavam baixa qualidade, apresentando valores de germinação abaixo de 80% (entre 65,2 e 75%), que é o mínimo para produção e comercialização de sementes de trigo (MAPA, 2013).

Por outro lado, Kock *et al.* (2017) observaram aumento linear crescente da germinação e vigor pela primeira contagem de germinação, conforme aumento das doses de 50, 100, 150 e 200 g ha<sup>-1</sup> de trinexapaque-etílico na cultivar de trigo OR Topázio, relacionando à possibilidade de melhoria da arquitetura da planta e interceptação da radiação solar. Por outro lado, na cultura da aveia Kaspary *et al.* (2015) constataram redução da germinação e vigor pela primeira contagem de germinação em sementes de aveia branca em função da aplicação de doses crescentes de trinexapaque-etílico. Percebe-se então que os resultados variam conforme a cultura, cultivar e dose do produto aplicada, necessitando de mais investigações conforme cada genótipo.

Para compreender melhor como esse produto influencia no desempenho germinativo e no crescimento das plântulas, avaliou-se o comprimento de parte aérea (CPA), de raiz (CRA), e de sua totalidade (CTOTAL), assim como seus reflexos no acúmulo de massa seca nessas estruturas (MSPA, MSRA e MSTOTAL).

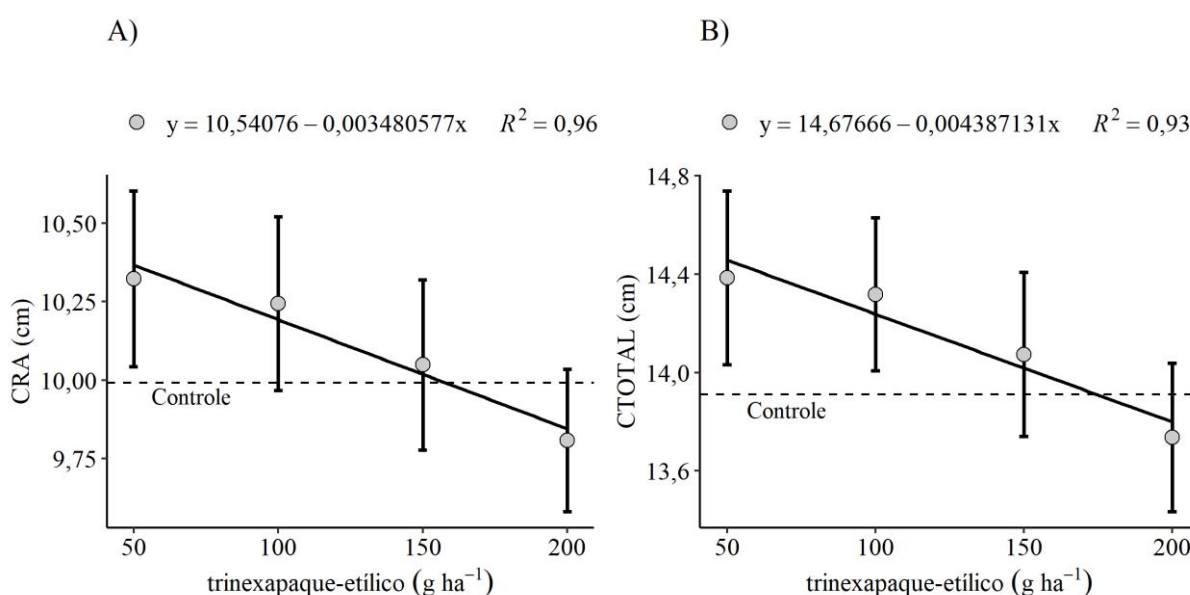
Para as variáveis CRA e CTOTAL da cultivar IPR Panaty obteve-se significância para o efeito isolado de época (Tabela 7), no qual a época E4 apresentou maior comprimento de raiz e total de plântulas, diferindo da E3 que obteve menores plântulas. Possivelmente influenciou de forma negativa por ser em uma época em que as sementes ainda estavam iniciando o seu desenvolvimento (estádio de grão aquoso).

**Tabela 7** - Comprimento e massa seca de plântulas avaliados nas cultivares de trigo IPR Panaty e IPR Potyporã em resposta a épocas e doses de aplicação de trinexapaque-etílico em trigo. Safra 2022, Londrina – PR.

| FV                   | p-valor      |         |         |        |       |         |
|----------------------|--------------|---------|---------|--------|-------|---------|
|                      | IPR Panaty   |         |         |        |       |         |
|                      | CPA          | CRA     | CTOTAL  | MSPA   | MSRA  | MSTOTAL |
| Época (E)            | 0,177        | 0,015   | 0,020   | 0,336  | 0,175 | 0,179   |
| Dose (D)             | 0,316        | 0,034   | 0,048   | 0,421  | 0,348 | 0,531   |
| Bloco                | 0,001        | <0,001  | <0,001  | <0,001 | 0,035 | 0,001   |
| E × D                | 0,086        | 0,098   | 0,068   | 0,193  | 0,911 | 0,589   |
| Fatorial x Adicional | 0,416        | 0,665   | 0,544   | 0,526  | 0,894 | 0,721   |
| Média Fatorial       | 4,023        | 10,106  | 14,128  | 3,768  | 4,056 | 7,824   |
| Média Controle       | 3,921        | 9,991   | 13,912  | 3,684  | 4,029 | 7,713   |
| CV (%)               | 5,178        | 4,360   | 4,203   | 5,848  | 8,324 | 6,617   |
| E1                   | -            | 10,0 ab | 14,0 ab | -      | -     | -       |
| E2                   | -            | 10,2 ab | 14,3 ab | -      | -     | -       |
| E3                   | -            | 9,8 b   | 13,7 b  | -      | -     | -       |
| E4                   | -            | 10,4 a  | 14,5 a  | -      | -     | -       |
| FV                   | IPR Potyporã |         |         |        |       |         |
|                      | CPA          | CRA     | CTOTAL  | MSPA   | MSRA  | MSTOTAL |
| Época (E)            | 0,821        | 0,842   | 0,83    | 0,833  | 0,465 | 0,832   |
| Dose (D)             | 0,015        | 0,010   | 0,011   | 0,115  | 0,701 | 0,287   |
| Bloco                | <0,001       | 0,001   | <0,001  | <0,001 | 0,826 | 0,019   |
| E × D                | 0,871        | 0,758   | 0,865   | 0,177  | 0,415 | 0,294   |
| Fatorial x Adicional | 0,527        | 0,735   | 0,667   | 0,290  | 0,434 | 0,298   |
| Média Fatorial       | 4,370        | 10,047  | 14,417  | 4,076  | 3,872 | 7,949   |
| Média Controle       | 4,456        | 10,179  | 14,635  | 4,22   | 3,999 | 8,22    |
| CV (%)               | 5,149        | 6,493   | 5,839   | 5,511  | 6,952 | 5,411   |

FV, fontes de variação; CPA, comprimento da parte aérea da plântula (cm); CRA, comprimento da raiz primária da plântula (cm); CTOTAL, comprimento total da plântula (cm); MSPA, massa seca da parte aérea da plântula (cm); MSRA, massa seca da raiz primária da plântula (cm); MSTOTAL, massa seca total da plântula (cm). Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para doses na cultivar IPR Panaty, independente da época de aplicação, houve redução do comprimento das plântulas conforme aumento das doses de trinexapaque etílico, no qual ambas as cultivares apresentaram regressão com ajuste linear decrescente para CRA e CTOTAL na cultivar IPR Panaty (Figura 9A e 9B). Somente a dose 200 g i.a. ha<sup>-1</sup> resultou em plântulas menores que o controle. Isto pode estar relacionado a presença de acamamento de plantas nessa cultivar, em que conforme aumento das doses foi possível reduzi-lo (dados não apresentados), porém, refletindo na redução do desempenho das plântulas em maiores doses.

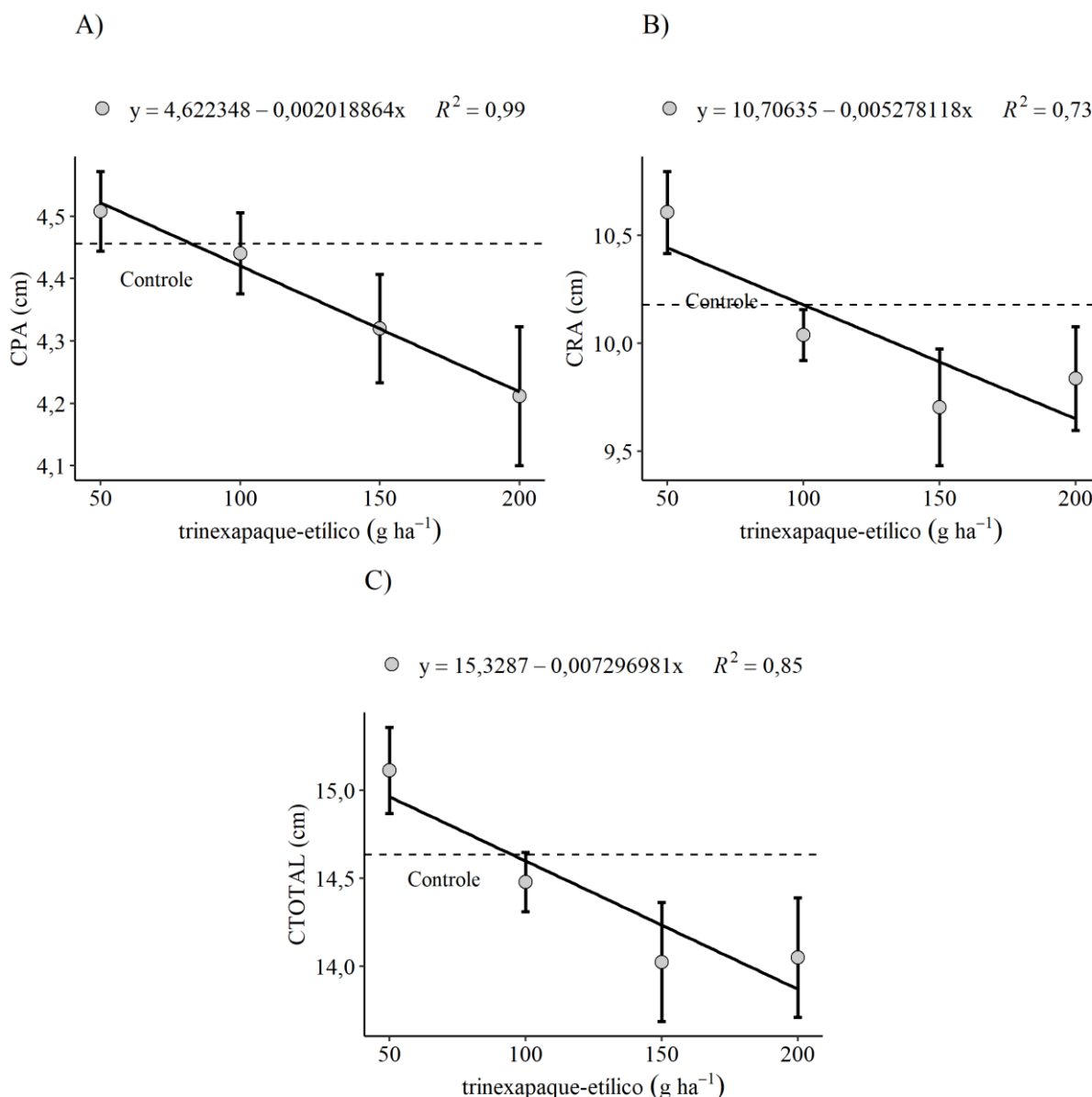


**Figura 9** - Comprimento da raiz primária da plântula (cm) **(A)** e Comprimento total da plântula (cm) **(B)** avaliados na cultivar de trigo IPR Panaty em resposta a doses de aplicação de trinexapaque-etílico (g i.a. ha<sup>-1</sup>). Safra 2022, Londrina – PR.

Para CPA, CRA e CTOTAL na cultivar IPR Potyporã (Figura 10A, 10B e 10C), também houve redução do comprimento das plântulas conforme aumento das doses de trinexapaque-etílico. Porém, observa-se que nenhuma das épocas ou doses diferiram do tratamento controle (testemunha) pelo teste de Dunnet. Além disso, a avaliação de massa seca de plântulas (MSPA, MSRA e MSTOTAL) do presente estudo não detectou diferenças no desempenho das plântulas, visto que apresentou diferenças não significativas em todas as análises.

Ao avaliarem a aplicação do trinexapaque-etílico entre o 1 e 2º nó visível, Faria *et al.* (2022) verificaram redução da qualidade fisiológica das sementes pelos testes de comprimento e massa de plântulas, com redução de 9,4 e 7,2%, respectivamente, de diferença entre o controle e a maior dose aplicada (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>). Porém, os

autores relataram ser uma redução pouco expressiva, que não causaria perdas econômicas significativas para a produção de sementes. Kaspary *et al.* (2015) também obtiveram redução do comprimento radicular e da massa seca de plântulas de aveia conforme aumento das doses de trinexapaque-etílico.



**Figura 10** - Comprimento da parte aérea (A), da raiz primária (B) e total da plântula (C) (cm), avaliados na cultivar de trigo IPR Potyporã em resposta a doses de aplicação de trinexapaque-etílico (g i.a. ha<sup>-1</sup>). Safra 2022, Londrina – PR.

Essa redução de vigor também foi observada no estudo de Bazzo *et al.* (2018), os autores avaliaram as cultivares de aveia branca IPR Afrodite, IPR Artemis, URS Corona e URS Guria com e sem aplicação do trinexapaque-etílico na dose de 125 g ha<sup>-1</sup> entre o 1° e 2° nó visível, e constataram redução de vigor das sementes

produzidas em dois ambientes, Londrina e Mauá da Serra, Paraná, com resposta variável conforme cada cultivar.

Esse é o primeiro estudo que relata os efeitos da aplicação de um regulador de crescimento composto por inibidores de giberelina em estádios de formação das sementes e seus reflexos na qualidade das sementes de trigo. Diante dos dados obtidos, verificou-se que a aplicação em E4 apresentou efeito positivo para a germinação e emergência de plântulas normais, sendo assim, os resultados demonstram a possibilidade de obtenção de sementes de qualidade caso aplicado nesse estágio. Novos estudos com enfoque nessa época e em efeitos de safra, como condições climáticas e presença ou ausência de acamamento, poderão contribuir na recomendação da aplicação do trinexapaque-etílico visando a redução da germinação em pré-colheita.

Vale ressaltar que houve redução da germinação, do vigor pela primeira contagem de germinação e comprimento das plântulas devido a aplicação de trinexapaque-etílico, porém, em nenhuma das épocas ou doses foi detectado diferenças significativas em relação ao tratamento controle (testemunha) pelo teste de Dunnet. A dose recomendada pelo fabricante do trinexapaque-etílico é de 100 a 125 g ha<sup>-1</sup>, dessa forma, o uso deste produto em trigo deve ser utilizado com cautela, principalmente na época E1 e em doses maiores que a recomendada pelo fabricante.

#### 4.6 CONCLUSÕES

A aplicação do trinexapaque-etílico entre o 1° nó visível e 2° nó perceptível (E1), em doses acima do recomendado pelo fabricante, reduz a qualidade fisiológica das sementes de trigo devendo ser utilizado com cautela em áreas destinadas à produção de sementes.

A aplicação do trinexapaque-etílico no estágio final de grão leitoso (E4) favorece na obtenção de sementes com qualidade fisiológica.

#### 4.7 REFERÊNCIAS

ABATI, J.; BRZEZINSKI, C.R.; FOLONI, J.S.S.; ZUCARELI, C., BASSOI, M.C.; HENNING, F.A. Seedling emergence and yield performance of wheat cultivars depending on seed vigor and sowing density. **Journal of Seed Science**, v. 39, p. 058-065, 2017.

BASSOI, M.C.; RIEDE, C.R.; CAMPOS, L.A.C.; FOLONI, J.S.S.; NASCIMENTO-JUNIOR, A.; ARRRUDA, K.M.A. Cultivares de trigo e triticales BRS e IPR (Embrapa e IDR-Paraná). Londrina, ed. 1, 2022. 60p.

BAZZO, J.H.B., BARBOSA, A.P., CARDOSO, C.P., ZUCARELI, C., FONSECA, I.C. D.B. Physiological quality of seeds of white oat cultivars in response to trinexapac-ethyl application. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 4, p. 636-643, 2018.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, 6º levantamento. Brasília, v.11, n.6, 124p. 2024.

CUNHA, G.R.; CAIERÃO, E. Informações técnicas para trigo e triticales: 15ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticales. Brasília, Embrapa, 2023. 143p.

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; SOUZA, L.T.D.; SOUZA, M.A.D.; CAMPANHARO, M.; GROSSI, J.A.S. Rates of nitrogen and growth retardant trinexapac-ethyl on wheat. **Ciência Rural**, v. 41, p. 2045-2052, 2011.

FARIA, L.P., SILVA, S.R., LOLLATO, R.P. Nitrogen and trinexapac-ethyl effects on wheat grain yield, lodging and seed physiological quality in southern Brazil. **Experimental Agriculture**, v. 58, 18p, 2022.

JORIS, H.A.W., PENCKOWSKI, L.H., KUHNEM, P., ROSA, A.C. Informações técnicas para trigo e triticales: 14ª reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de trigo e triticales. 2022.

KASPARY, T.E.; LAMEGO, F.P.; BELLÉ, C.; KULCZYNSKI, S.M. e PITTOL, D. Regulador de crescimento na produtividade e qualidade fisiológica de sementes de aveia branca. **Planta Daninha**, v. 33, n. 4, p. 739-750, 2015.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000400012>

KOCH, F.; ZIMMER, G.; MONTEIRO, M.A.; MARTINS, A.C.; DELIAS, D.S.; TROYJACK, C., SZARESKEI, V.J.; BORGES, E.G.; PEDÓ, T.; AMARANTE, L.; VILELA, F.A.; AUMONDE, T.Z. Chemical composition and physiological quality of wheat seeds with the application of trinexapac-ethyl, a plant growth regulator. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 12, p. 1527-1533, 2017.

KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.D.B.; MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: Conceitos e Testes**. Londrina: Abrates. 601p. 2020.

MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395p.

MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa nº 45, 402 de 17 de setembro de 2013: Anexo XXIII. Brasília: D. O. U, 2013. 38 p.

PENCKOWSKI, L.H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Qualidade industrial do trigo em função do trinexapac-ethyl e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 6, p. 1492-1499, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000600020>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Artmed Editora, 6ª ed, 856p. 2017.

R Core Team (2023) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org/>

SHIMIZU, G.D., GONÇALVES, L.S.A. AgroReg: Main regression models in agricultural sciences implemented as an R Package. **Scientia Agricola**, v. 80, 2023.

SHIMIZU, G.D.; MARUBAYASHI, R.Y.; GONCALVES, L.S. AgroR: Experimental Statistics and Graphics for Agricultural Sciences. 2023. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/AgroR/index.html>

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



## **5. CONCLUSÕES FINAIS**

O trinexapaque-etílico reduz a altura das plantas na época E1 (estádio de alongamento do colmo, entre o 1° nó visível e 2° nó perceptível) com maior eficácia conforme aumento das doses, porém, caso a área seja destinada a produção de sementes deve ser utilizado com cautela em doses maiores que a recomendada pelo fabricante do produto, pois influencia negativamente na germinação e vigor das sementes.

A cultivar IPR Panaty demonstrou ser mais suscetível ao acamamento de plantas e redução da qualidade dos grãos que a IPR Potyporã, não sendo possível definir uma melhor época ou dose de aplicação visando redução da germinação em pré-colheita.

Para a cultivar IPR Potyporã, na safra 2022, entre as épocas E2, E3 e E4 estudadas, a época E4 (estádio final de grão leitoso) foi a que mais demonstrou potencial a ser explorado na minimização de perdas da qualidade tecnológica de grãos de trigo, bem como contribuiu de forma positiva na qualidade fisiológica das sementes.