



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

MARINARA FERNEDA VENTORIM

**ATRASSO NA COLHEITA EM CULTIVARES DE TRIGO:  
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE SEMENTE**

---

Londrina  
2024

MARINARA FERNEDA VENTORIM

**ATRASO NA COLHEITA EM CULTIVARES DE TRIGO:  
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE SEMENTE**

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

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli

Londrina  
2024

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

V466a Ventorim, Marinara Ferneda.  
Atraso na colheita em cultivares de trigo: produtividade e qualidade de semente / Marinara Ferneda Ventorim. - Londrina, 2024.  
88 f.

Orientador: Claudemir Zucareli.  
Coorientador: Carolina Maria Gaspar de Oliveira.  
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2024.  
Inclui bibliografia.

1. Estresse abiótico - Tese. 2. Germinação pré-colheita - Tese. 3. Maturação - Tese. 4. Potencial fisiológico - Tese. I. Zucareli, Claudemir. II. de Oliveira, Carolina Maria Gaspar. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

MARINARA FERNEDA VENTORIM

**ATRASO NA COLHEITA EM CULTIVARES DE TRIGO:  
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE SEMENTE**

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

**BANCA EXAMINADORA**

---

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

---

Coorientadora: Dra. Carolina Maria Gaspar de  
Oliveira  
IDR-Paraná

---

Dra. Ana Lígia Giraldeli

---

Dr. Denis Santiago da Costa

---

Dra. Gisely Paula Gomes

---

Dra. Talita Silveira Amador

Londrina, 28 de agosto de 2024

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por cada oportunidade que tive em minha vida, as quais me trouxeram até aqui. Agradeço a Deus, especialmente pela família incrível que Ele me deu. Essa família, composta pelo meu pai Gelásio, minha mãe Sandra e minha irmã Tainara, nunca mediu esforços para que eu estudasse e aproveitasse cada etapa vivida. O apoio deles foi fundamental para a conclusão dessa tese e obtenção desse título. Também agradeço aos meus familiares, das famílias Ferneda e Ventorim que estiveram comigo nessa jornada. Em especial às minhas primas, pela união e apoio de sempre.

Agradeço meu orientador, Claudemir Zucareli, pelo conhecimento compartilhado, paciência e orientação dedicada ao longo desta caminhada. À minha coorientadora, Carolina Gaspar, pelo suporte constante e pelas valiosas contribuições ao meu trabalho. Ambos são profissionais exemplares para mim, e levarei sempre comigo seus ensinamentos. Não posso deixar de agradecer o professor Romulo Lollato, pela oportunidade da realização do doutorado sanduíche na Kansas State University, uma experiência excepcional e que me trouxe grandes aprendizados.

Aos membros da banca, doutores Ana Lígia Giraldele, Denis Santiago da Costa, Gisely Paula Gomes e Talita Silveira Amador, agradeço o aceite do convite e por todas as contribuições e sugestões para com este trabalho.

Um agradecimento especial aos amigos da pós-graduação. Não posso deixar de citar minha amiga Emanuelli Bastos Garcia, pela amizade e contribuição nesse trabalho. A minha amiga Patrícia Piva Emrich por todo apoio. Ao meu amigo Gabriel Shimizu pelo auxílio em minhas análises estatísticas. Agradeço os estagiários, em especial a Maria Eduarda e Amanda. Foram muitos os colegas e amigos que fiz ao longo desses anos, me sinto privilegiada em ter tantas pessoas queridas ao meu lado, e mesmo querendo citar mais nomes, usaria algumas linhas e ainda não seria suficiente. Minhas amizades de infância, de graduação, de pós-graduação, as que fiz durante meu intercâmbio, amizades da vida, as quais acompanharam um pedaço ou grande parte minha jornada acadêmica.

Agradeço a todos os professores, pesquisadores, técnicos de laboratório e de campo. À CAPES, meu sincero agradecimento pelo apoio financeiro durante o meu percurso acadêmico, tanto no Brasil, quanto nos Estados Unidos.

Dedico essa Tese aos meus pais Sandra e Gelasio.  
Em memória da minha querida avó Maria José Ferneda, que, com sua sabedoria, amor e doçura,  
iluminou nossas vidas. Seu sorriso era capaz de abraçar, e seu coração, de acolher.

## RESUMO

Ventorim, Marinara Fereda. **Atraso na colheita em cultivares de trigo: produtividade e qualidade de semente.** 2024. 91 folhas. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

As épocas de semeadura e colheita na cultura do trigo impactam a produtividade e qualidade de sementes. Quando há atraso na colheita, as sementes ficam sujeitas à deterioração no campo e à germinação na espiga, especialmente sob condições desfavoráveis de umidade. O nível de danos varia de acordo com as condições climáticas e a suscetibilidade dos cultivares. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar, em três cultivares de trigo, o efeito de duas épocas de semeadura e cinco períodos de atraso na colheita sobre a produtividade, a qualidade física e fisiológica das sementes, e a atividade enzimática das plântulas. As cultivares BRS 220, BRS Sanhaço e BRS Gralha azul foram semeadas em duas épocas distintas, com colheita realizada em cinco períodos diferentes, correspondendo a 0, 7, 14, 21 e 28 dias após a maturação de colheita, caracterizando atraso na colheita. Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, sendo cada época de semeadura realizada em parcelas subdivididas, com os cultivares alocados nas parcelas principais e os períodos de colheita nas subparcelas. Avaliaram-se a produtividade de sementes, o peso hectolitro, a massa de mil sementes e o teor de água. A qualidade fisiológica foi avaliada pelos testes de germinação, primeira contagem, envelhecimento acelerado e comprimento de plântulas. Nas plântulas normais analisaram-se o teor de proteínas total e a atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT). Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e homocedasticidade. Cada época de semeadura foi avaliada de maneira independente. Realizou-se a análise de variância e teste F ( $p \leq 0,05$ ), e quando constatado efeito significativo dos tratamentos, as médias de cultivares foram comparadas pelo teste de Tukey e os períodos de colheita pela análise de regressão. Foi realizada a análise de componentes principais entre as variáveis de viabilidade e vigor das sementes com as de atividade enzimática e teor de proteína. Todas as análises foram realizadas utilizando o Software R. As cultivares BRS 220, BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço apresentaram respostas distintas ao atraso na colheita, com impactos significativos na qualidade das sementes e na produtividade. A BRS 220 demonstrou maior susceptibilidade à deterioração e à germinação na espiga, resultando em perdas acentuadas no peso de mil sementes e maior redução na germinação e vigor, especialmente em condições de alta umidade. A produtividade também foi severamente afetada, com perdas de aproximadamente 271 kg ha<sup>-1</sup> por semana de atraso na colheita. O peso hectolitro (PH) diminuiu progressivamente em ambas as épocas de semeadura, agravado por períodos de alta umidade. Além disso, o atraso na colheita prejudicou o comprimento da parte aérea e das raízes das plântulas, reduzindo o vigor e o estabelecimento. O aumento na atividade da CAT e da SOD foi uma resposta ao estresse oxidativo causado pelo atraso, evidenciando a importância dessas enzimas na defesa antioxidante. A cultivar BRS Sanhaço mostrou maior resiliência ao atraso que as demais, com menor impacto na germinação e vigor, destacando-se como uma opção mais adequada para situações nas quais o atraso na colheita é inevitável.

**Palavras-chave:** Estresse abiótico. Germinação pré-colheita. Maturação. Potencial fisiológico. *Triticum aestivum*.

## ABSTRACT

VENTORIM, M. F. **Delayed Harvest in Wheat Cultivars: Yield and Seed Quality**. 2024. 91 pages. Thesis (Doctorate in Agronomy). – Centro de Ciências Agrárias. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

Sowing and harvesting times in wheat crops significantly impact seed productivity and quality. When harvesting is delayed, seeds are exposed to field deterioration and pre-harvest sprout, especially under unfavorable moisture conditions. The level of seed damage varies with climatic conditions and cultivar susceptibility. This study aimed to evaluate the effect of two sowing dates and five delayed harvest periods on seed productivity, physical and physiological seed quality, total protein content, and enzymatic activity of normal seedlings across three wheat cultivars. The wheat cultivars BRS 220, BRS Sanhaço, and BRS Gralha-Azul were sown on two dates, with harvesting performed in five periods, corresponding to 0, 7, 14, 21, and 28 days after harvest maturity, characterizing delayed harvest. The experiments followed a randomized block design with four replicates. Each sowing date was carried out in split plots, with the cultivars allocated in the main plots and the harvest periods in the subplots. Harvesting and threshing were done manually. Seed productivity, hectoliter weight, thousand-seed mass, and water content were evaluated. Physiological quality was assessed through germination tests, first count, accelerated aging, and seedling length assessments. In normal seedlings, total protein content and the activity of superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX), and catalase (CAT) enzymes were analyzed. Data were subjected to normality and homoscedasticity tests. Each sowing date was analyzed independently. Analysis of variance and the F test ( $p \leq 0.05$ ) were performed, with significant treatment effects followed by Tukey's test for cultivar comparisons and regression analysis for harvest periods. Principal component analysis was conducted to assess relationships between seed viability, vigor, enzymatic activity, and protein content. All analyses were performed using R software. The cultivars BRS 220, BRS Gralha-Azul, and BRS Sanhaço responded differently to harvest delays, showing significant effects on seed quality and productivity. BRS 220 was more susceptible to deterioration and pre-harvest sprout, leading to marked reductions in thousand-seed weight, germination rates, and vigor, particularly in high humidity conditions. Productivity also declined, with losses averaging  $271 \text{ kg ha}^{-1}$  per week of harvest delay. Hectoliter weight (HW) decreased progressively in both sowing dates, exacerbated by high humidity periods. Additionally, delayed harvesting reduced shoot and root length, compromising seedling vigor and establishment. Increases in CAT and SOD activity were observed in response to oxidative stress caused by harvest delay, highlighting the role of these enzymes in antioxidant defense. BRS Sanhaço demonstrated greater resilience to delays, with less impact on germination and vigor, making it a more suitable option when harvest delays are unavoidable.

**Keywords:** Abiotic stress. Pre-harvest sprouting. Maturation. Physiological potential. *Triticum aestivum*.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Dados de precipitação pluvial ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) e temperaturas mínima, máxima e média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ), durante o período de condução dos experimentos em Londrina-PR, 2019. .... 45#
- Figura 2** - Dados de precipitação pluvial ( $\text{mm}/\text{dia}$ ) e temperaturas mínima, máxima e média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ), durante o período de colheitas dos experimentos em Londrina-PR (2019), com indicação das datas de colheita para a primeira época de semeadura (vermelho) e para a segunda época de semeadura (verde). .... 46#
- Figura 3** – Avaliações de peso de mil sementes (PMS) (A); produtividade (PROD) (B) e peso hectolitro (PH) (C), para as cultivares de trigo BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na primeira época de semeadura (EP1). .... 49#
- Figura 4** – Avaliações de peso de mil sementes (PMS) (A), produtividade (PROD) (B) e peso hectolitro (PH) (C), para as cultivares de trigo BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na segunda época de semeadura (EP2). .... 50#
- Figura 5** – Regressão das médias de: A: primeira contagem de germinação (PC); B: germinação (G); e C: envelhecimento acelerado (ENV), de sementes de trigo para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na primeira época de semeadura (EP1). .... 54#
- Figura 6** - Regressão das médias de A: primeira contagem de germinação (PC); B: germinação (GERM); e C: envelhecimento acelerado (ENV), para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na segunda época de semeadura (EP2). .... 55#
- Figura 7** - Regressão das médias de comprimento de parte aérea (CPA) para as cultivares de trigo BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na primeira época de semeadura (EP1). .... 57#
- Figura 8** - Dados de precipitação pluvial ( $\text{mm}/\text{dia}$ ) e temperaturas mínima, máxima e média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ), durante o período de condução dos experimentos em Londrina-PR, 2019. .... 67#
- Figura 9** - Dados de precipitação ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) e temperaturas mínima, máxima e média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ), durante o período de colheita dos experimentos em Londrina-PR, 2019. .... 68#
- Figura 10** - Primeira contagem de germinação (PC), germinação (GERM) e envelhecimento (ENV) para as cultivares de trigo BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na primeira época de semeadura (EP1). .... 73#
- Figura 11** - Comprimento de parte aérea (CPA) e comprimento de raiz (CR) de plântulas de trigo para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na primeira época de semeadura (EP1). .... 74#
- Figura 12** - Regressão das médias de primeira contagem de germinação (PC), germinação (GERM) e envelhecimento (ENV) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na segunda época de semeadura (EP2). .... 75#

**Figura 13** - Comprimento de parte aérea (CPA) e comprimento de raiz (CR) de plântulas de trigo para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na segunda época de semeadura (EP2). ..... 76#

**Figura 14** - Regressão das médias de proteína da parte aérea (PROTA), proteína da raiz (PROTR), catalase da raiz (CATR) e superóxido dismutase da parte aérea (SODPA) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na primeira época de semeadura (EP1). ..... 78#

**Figura 15** - Análise de componentes principais para as variáveis primeira contagem de germinação (PC), germinação (GERM) e envelhecimento (ENV), comprimento de plântulas parte aérea (CPA) e raiz (CR), proteína da parte aérea (PROTA) e da raiz (PROTR), catalase da parte aérea (CATA) e da raiz (CATR), ascorbato peroxidase da parte aérea (APXPA) e da raiz (APXR), superóxido dismutase da parte aérea (SODPA) e da raiz (SODR) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita primeira época de semeadura (EP1). ..... 81#

**Figura 16** - Análise de componentes principais para as variáveis primeira contagem de germinação (PC), germinação (G) e envelhecimento (ENV), comprimento de plântulas parte aérea (CPA) e raiz (CR), proteína da parte aérea (PROTA) e da raiz (PROTR), catalase da parte aérea (CATA) e da raiz (CATR), ascorbato peroxidase da parte aérea (APXPA) e da raiz (APXR), superóxido dismutase da parte aérea (SODPA) e da raiz (SODR) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita segunda época de semeadura (EP2). ..... 82#

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Análise de variância do peso de mil sementes (PMS), produção (PROD), peso hectolitro (PH) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita nas duas épocas de semeadura. .... 48
- Tabela 2** - Resultados da análise de variância para as variáveis primeira contagem de germinação (PC), germinação (G) e envelhecimento (ENV) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita das sementes nas duas épocas de semeadura..... 52
- Tabela 3** - Resultados da análise de variância para as variáveis comprimento de parte aérea de plântula (CPA), comprimento da raiz (CR), comprimento da plântula (CP) para as cultivares de trigo BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita em duas épocas de semeadura..... 56
- Tabela 4** - Resultados da análise de variância para as variáveis primeira contagem de germinação (PC), germinação (GERM) e envelhecimento (ENV), comprimento de plântulas parte aérea (CPA) e raiz (CR) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na primeira época de semeadura (EP1). .... 72
- Tabela 5** - Resultados da análise de variância para as variáveis primeira contagem de germinação (PC), germinação (G) e envelhecimento (ENV), comprimento de parte aérea de plântulas (CPA) e comprimento de raiz de plântulas (CR) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita segunda época de semeadura (EP2). .... 74
- Tabela 6** - Análise de variância para as variáveis, proteína da parte aérea (PROTA) e da raiz (PROTR), catalase da parte aérea (CATA) e da raiz (CATR), ascorbato peroxidase da parte aérea (APXPA) e da raiz (APXR), superóxido dismutase da parte aérea (SODPA) e da raiz (SODR) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita para a primeira época de semeadura (EP1)..... 77
- Tabela 7** - Resultados da análise de variância para as variáveis proteína da parte aérea (PROTA), proteína da raiz (PROTR), catalase da parte aérea (CATA) e da raiz (CATR), ascorbato peroxidase da parte aérea (APXPA) e da raiz (APXR), superóxido dismutase da parte aérea (SODPA) e da raiz (SODR) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita segunda época de semeadura (EP2).79

## SUMÁRIO

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>   | 12 |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DE LITERATURA</b>  | 14 |
| 2.1      | Aspectos gerais da cultura do trigo   | 14 |
| 2.1.1    | Ecofisiologia do trigo  | 16 |
| 2.1.2    | Formação e composição das sementes de trigo   | 20 |
| 2.2      | Qualidade de sementes   | 22 |
| 2.2.1    | Deterioração de sementes  | 24 |
| 2.2.2    | Épocas de semeadura e colheita  | 25 |
| 2.2.3    | Germinação pré-colheita   | 27 |
| 2.2.4    | Respostas bioquímicas das plântulas ao estresse   | 28 |
| <b>3</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>   | 31 |
| <b>4</b> | <b>ARTIGO A: qualidade física e fisiológica de sementes de trigo cultivado em diferentes épocas e submetido ao atraso na colheita</b>   | 41 |
| 4.1      | Introdução  | 42 |
| 4.2      | Material e Métodos  | 44 |
| 4.3      | Resultados e discussão  | 48 |
| 4.4      | Conclusão   | 58 |
| 4.5      | Referências bibliográficas  | 58 |
| <b>5</b> | <b>ARTIGO B: Respostas bioquímicas e potencial fisiológico de sementes de diferentes cultivares de trigo submetidas ao atraso na colheita em diferentes épocas de semeadura</b> | 63 |
| 5.1      | Introdução  | 64 |
| 5.2      | Material e Métodos  | 66 |
| 5.3      | Resultados e Discussão  | 71 |
| 5.4      | Conclusão   | 85 |
| 5.5      | Referências bibliográficas  | 85 |

## 1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum* spp.) é uma das principais culturas agrícolas do mundo, desempenhando um papel crucial na alimentação global e em diversas cadeias produtivas, especialmente na indústria alimentícia. A produção de trigo no Brasil enfrenta desafios significativos, o país, que ainda não é autossuficiente em termos de produção, depende fortemente de importações para atender à demanda interna. Entre os principais obstáculos estão os fatores ambientais adversos, as limitações tecnológicas e as deficiências no manejo e na infraestrutura. Esses fatores não afetam apenas o rendimento de grãos e a sua qualidade tecnológica, mas também, impactam diretamente na qualidade fisiológica das sementes, um fator crucial para o sucesso da cultura.

Nesse sentido, a época de semeadura e o período de colheita são dois fatores que definem a produtividade e a qualidade das sementes, pois irão interagir com as condições ambientais, como temperatura, precipitação pluvial, umidade do solo, fotoperíodo, além de ataque de pragas e doenças. A época de semeadura irá afetar não somente a germinação, mas também o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo definida de acordo com o zoneamento agroclimático, e pelas características do ciclo de cada cultivar.

Já o período de colheita é um fator que pode intensificar tanto a deterioração das sementes, quanto a ocorrência de germinação pré-colheita. Quando as sementes permanecem no campo além do ponto ideal para colheita, elas ficam sujeitas às condições ambientais adversas, como precipitações e variações de temperatura, que aceleram o processo de deterioração e elevam o risco de germinação ainda na espiga, resultando na perda da qualidade fisiológica das sementes e, comprometendo sua capacidade de armazenamento. Portanto, realizar a colheita no momento adequado é essencial para reduzir esses riscos, e preservar a viabilidade das sementes.

A ocorrência e a intensidade dos danos ocasionados pela germinação pré-colheita são determinadas por diversos fatores, dentre eles o genótipo, que define a suscetibilidade genética do cultivar, ou seja, presença ou ausência de genes de resistência à germinação. Assim, cultivares suscetíveis possuem maior capacidade de germinar após os estádios intermediários de desenvolvimento do grão, enquanto em variedades resistentes pode não ocorrer germinação, mesmo depois da maturidade fisiológica e da maturação de colheita no campo. Dessa forma, deve-se considerar, em uma cultivar o seu ciclo fenológico e relacioná-lo a melhor data de semeadura e colheita dentro do zoneamento pré-estabelecido para a cultura.

Além disso, a deterioração das sementes e a germinação pré-colheita estão profundamente interligadas com o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs). Durante o processo de deterioração, o aumento das EROs provoca danos oxidativos às células, resultando na peroxidação lipídica, oxidação de proteínas e danos ao material genético. Esses danos são maiores quando em condições de estresse ambiental, como altas temperaturas e umidade elevada, que promovem a aceleração da deterioração e comprometem a viabilidade das sementes. A capacidade das sementes de resistir aos danos depende da eficiência de seus sistemas antioxidantes, que têm a função de neutralizar as EROs e proteger as estruturas celulares.

Contudo, quando a produção de EROs supera a capacidade de defesa das sementes, o processo de deterioração se torna inevitável, resultando em perdas significativas na qualidade fisiológica e no desempenho das sementes. Assim, o vigor das sementes está intimamente relacionado ao ambiente de maturação, já que tais condições aceleram a respiração e consomem energia que, de outra forma, seria vital para o desenvolvimento das plântulas. No entanto, ainda são escassos os trabalhos relacionando estresse em detrimento do atraso na colheita e na posterior germinação das sementes.

Dessa forma, para a triticultura, pesquisas voltadas à elucidação dos mecanismos envolvidos na perda de produtividade e de qualidade na fase de maturação final são fundamentais e podem ser utilizadas em estratégias para reduzir as perdas. Diante desse contexto, faz-se necessário investigar os fatores que contribuem para a deterioração das sementes e a germinação pré-colheita, bem como as respostas enzimáticas e o papel das EROs nesse processo. Entender esses mecanismos pode fornecer subsídios para o desenvolvimento de estratégias que visem mitigar os efeitos negativos sobre a qualidade das sementes e, conseqüentemente, sobre a produtividade do trigo.

Visando esclarecer a interação do genótipo frente às possíveis condições estressantes, como a época de semeadura e o atraso na colheita em trigo, este trabalho tem como o objetivo avaliar, em três cultivares de trigo, o efeito de duas épocas de semeadura e cinco períodos de atraso na colheita sobre a produtividade, a qualidade física e fisiológica das sementes, e o teor de proteína total e a atividade enzimática das plântulas normais.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO TRIGO

O trigo é pertencente à família das Poáceas, do gênero *Triticum*, e é uma cultura agrônômica de relevância mundial. Sua produção comercial é em maioria da espécie *Triticum aestivum*, ou trigo comum, a qual corresponde a 95% da produção mundial, destinado principalmente à fabricação de pães. Outras duas espécies cultivadas em menor escala, referem-se ao *Triticum compactum* e ao *Triticum durum*, diferenciados pela resistência do glúten (SHEWRY, 2009).

O *Triticum aestivum* L. é uma espécie que apresenta três genomas, A, B e D, cada um deles representado por sete pares de cromossomos. Os fatores genéticos responsáveis pela qualidade de panificação localizam-se nos cromossomos do genoma D. Já o *Triticum durum*, outra espécie cultivada mundialmente, denominado trigo duro é também chamado de “trigo para macarrão”, o qual possui os genomas A e B e não apresenta, portanto, qualidade suficiente para panificação. O trigo duro é o segundo mais cultivado, com aproximadamente 17 milhões de hectares no mundo, o que representa somente 8% da área cultivada (CAMARGO; FERREIRA FILHO, 2000).

O trigo foi uma das primeiras culturas alimentares domesticadas e, durante 8.000 anos, é considerado o alimento básico das principais civilizações da Europa, Ásia Ocidental e Norte da África (CURTIS, 2002). Sua relevância deve-se à sua integração com diversas cadeias produtivas, com a principal destinação a indústria alimentícia, voltada a produção de farinhas, biscoitos, pães e massas, além da utilização na alimentação animal (FARIAS et al., 2017).

A cultura tem se destacado devido à importância para a economia global, por ser um dos três cereais mais cultivados, juntamente com o milho e o arroz. No âmbito das principais culturas agrícolas destinadas à produção de alimentos, o trigo responde por aproximadamente 21% da demanda mundial (SANTI et al., 2017).

Na safra 2023 a produção total do cereal atingiu 787,62 milhões de toneladas. A China é o país que lidera o ranking da produção, seguido da Rússia e dos Estados Unidos (USDA, 2024). Nesse mesmo ano, foram produzidos no Brasil um total de 8.096,8 mil toneladas do grão, o que colocou o país na 16ª posição no ranking dos maiores produtores mundiais de trigo, com sua produção concentrada nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul, que representam 85% do total nacional. Para a safra 2024/25, a Conab revisou as estimativas, prevendo o cultivo de 3.069,9 mil hectares (-11,6%), produtividade de 2.917 kg ha<sup>-1</sup> (+25,1%)

e uma produção de 8.955,8 mil toneladas (+10,6%). No entanto, essa produção não é suficiente para atender à demanda interna, fazendo do Brasil o segundo maior importador de trigo do mundo, com importações estimadas em 6,60 milhões de toneladas em 2023 e 5,8 milhões de toneladas em 2024 (CONAB, 2024).

A baixa produção, rendimento de grãos, qualidade tecnológica e retorno econômico do trigo no Brasil comparada aos outros países deve-se em sua maioria aos fatores ambientais como clima e solo, mas também ao aporte tecnológico e a infraestrutura empregados e qualidade de gestão do sistema produtivo (CUNHA; PIRES; VARGAS, 2011).

Conforme dados da FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), durante o período de 2002 a 2022 houve grande variação entre a produção do cereal no Brasil. Em 2000 a produção era de 3,1 milhões de toneladas, durante esses 20 anos, houve um aumento de mais de 2000%, relativo a produção de 10,3 milhões de toneladas em 2022. No entanto, a produção no país não é estável. De 2012 a 2022, tanto a área colhida quanto a produção, apresentaram valores muito variáveis. Nestes dez anos, as maiores safras foram em 2021 e 2022, com 7,9 e 10,3 milhões de toneladas respectivamente. Já as menores produções foram observadas nos anos de 2012 e 2017, com 4,4 e 4,3 milhões de toneladas respectivamente (FAO, 2024). Essas diferenças na produção são justificadas pelo aumento ou diminuição da área cultivada, mas também devido às condições climáticas de cada safra.

Apesar das variações entre as safras, o país apresenta um grande potencial de produção e transformação do cenário atual da cultura. Com terras disponíveis, clima favorável, tecnologia, agricultores experientes e mercado para o produto, possui capacidade de ampliar sua produção e reduzir a dependência externa (MEZIAT; VIEIRA, 2009). Estes fatores quando aliados às tecnologias geradas pela pesquisa, como o desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições de cultivo variadas, evidenciam o trigo como uma ótima opção dentro da rotação de culturas (BASSOI et al., 2016), por diversificar o sistema e gerar receita com a produção de grãos (DE BONA; DE MORI; WIETHÖLTER et al., 2016).

Dessa forma, além de sua importância alimentar, a produção da gramínea apresenta benefícios diretos e indiretos. Representa excelente opção na composição de sistemas de produção agrícola sustentáveis (MORI, 2015), contribuindo para o manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas.

### 2.1.1 Ecofisiologia do trigo

Os conhecimentos sobre a ecofisiologia da cultura, bem como a interferência dos fatores ecológicos no desenvolvimento da planta, são fundamentais para o manejo correto da lavoura de trigo. Quando se entende os processos fisiológicos, os fatores externos e internos da espécie, e como cada um deles pode afetar os estádios de desenvolvimento e crescimento da cultura, até o final de seu ciclo, é possível direcionar a produção de grãos de forma a utilizar ao máximo os recursos disponíveis no meio ambiente, como a temperatura, vernalização, disponibilidade hídrica, radiação solar e fotoperíodo (RODRIGUES et al., 2011).

Os estádios de desenvolvimento do trigo são divididos em fase vegetativa, reprodutiva e enchimento de grãos, no entanto, dentre as fases, os estádios estão divididos basicamente em: plântula, afilhamento, alongamento, emborrachamento, espigamento, florescimento, grão em estado leitoso, grão em massa, grão em maturação fisiológica e grão maduro (SCHEEREN; CASTRO; CAIERÃO, 2015). As condições ambientais ocorridas durante estádios específicos da cultura são determinantes no rendimento quantitativo e qualitativo (CUNHA et al., 2009).

A cultura do trigo é considerada exigente em condições edafoclimáticas, apresentando variações da temperatura ótima conforme as fases fenológicas (WHITE, 2006). Na literatura existem relatos de que a temperatura ideal para o desenvolvimento das folhas está entre 20 e 25°C, e entre 15 e 20°C para o perfilhamento (MOTA, 1989). Os efeitos causados pela temperatura variam entre as cultivares, e manifestam-se no período que se estende da emergência ao florescimento, podendo afetar o enchimento dos grãos. Irregularidade nos valores da temperatura, acima da faixa ótima, provocam alterações em diversos processos metabólicos, podendo culminar na morte prematura das plantas (SOUZA; PIMENTEL; RIBEIRO, 2011).

A temperatura elevada, acima de 30°C, tem sido identificada como um dos fatores ambientais que afetam a qualidade do trigo, principalmente na fase de enchimento de grãos (MAJOUL et al., 2003; STONE; NICOLAS, 1994). Temperaturas acima das ideais podem acarretar diversos distúrbios fisiológicos na planta, como diminuição de área foliar e de porcentagem de flores fecundadas, podendo provocar, ainda, redução do ciclo e produção de grãos com menor peso (RAHMAN et al., 2009; RIBEIRO et al., 2012).

Os primeiros sinais dos efeitos do estresse por altas temperaturas ocorrem logo na germinação e emergência das plântulas. Neste estágio fenológico quando em temperaturas superiores a 35 °C, a mobilização de reservas da semente é comprometida, interferindo no desenvolvimento da plântula e também no alongamento da radícula. O estresse afeta as

enzimas envolvidas na hidrólise do amido de forma a suprimir reservas do embrião, comprometendo a velocidade de germinação e vigor (ESSEMINE; AMMAR; BOUZID, 2010). Após a emergência, as altas temperaturas têm efeitos diretos sobre o potencial de crescimento, redução no desenvolvimento radicular, na emissão de perfilhos produtivos e na diferenciação de espiguetas e flores (DIAS; LIDON, 2009; PIMENTEL et al., 2015).

A habilidade dos cereais de inverno em tolerar temperaturas relativamente baixas é determinada por meio de interações físicas e bioquímicas dependentes do genótipo e de fatores ambientais. Na fase de desenvolvimento inicial por exemplo, a ocorrência de temperaturas baixas favorece o período vegetativo, prolongando-o, conseqüentemente incrementando o número de perfilhos e proporcionando um sistema radicular mais abundante (JUNGES; FONTANA, 2011).

Porém, temperaturas abaixo daquela basal para a cultura, com formação de geadas, quando sucedidas a partir do estágio de alongamento da cultura, podem causar prejuízos severos, provocando o “estrangulamento” dos colmos e a “queima” das folhas, podendo também prejudicar o processo de formação do grão, cessando o enchimento e resultando em grãos com menor qualidade e rendimento (SCHEEREN et al., 2000).

Em relação a necessidade hídrica, considera-se uma cultura com certa tolerância à deficiência hídrica, devido a sua origem de região semiárida e por apresentar eficiência significativa no uso da água (SCHLEHUBER; TUCKER, 1967). Entretanto, situações de déficit hídrico podem causar grandes mudanças na planta, dependendo da severidade, da natureza do estresse, da duração do período, da fase do desenvolvimento da planta e no genótipo selecionado, uma vez que as características responsáveis pelo crescimento e desenvolvimento podem ser diferentes (KRAMER, 1974). Em contrapartida, a capacidade de recuperação da planta depende da intensidade do estresse e da velocidade que o mesmo ocorre (BOYER, 1971).

Alguns estádios de seu desenvolvimento podem ser bastante afetados pelo estresse hídrico, podendo resultar em reduções no rendimento de grãos se ocorrer entre o início do florescimento e a fase de grãos leitosos (FRIZZONE; OLITTA, 1990). O padrão de perfilhamento da cultura do trigo também é afetado pela deficiência hídrica, reduzindo o número e o tamanho dos mesmos quando o evento antecede a antese, e causando a morte dos perfilhos quando ocorre após o período de antese (LAWLOR et al., 1981; MUSICK; DUSEK, 1980). Entretanto, Stark e Longley (1986) observaram um aumento no período de perfilhamento e também no número de perfilhos após a reidratação das plantas.

A área foliar em trigo também é reduzida em consequência à falta de água, podendo

afetar positiva ou negativamente no rendimento dos grãos, uma vez que a eficiência no uso da água é influenciada pela área foliar. Richards (1983) relatou que certa limitação de água pode reduzir o excesso de área foliar, melhorando a eficiência do uso de água, e por consequência melhorando o potencial produtivo da planta.

Água em excesso também é prejudicial e a primeira resposta ao estresse por excesso de água no solo é uma redução na taxa de crescimento radicular. O metabolismo das raízes fica restrito quando a concentração de  $O_2$  no solo é reduzida à níveis considerados críticos (JACKSON; DREW, 1984). Meyer et al. (1985), verificaram que plantas de trigo tiveram o crescimento radicular interrompido após 24 horas de inundação do solo, isso ocorreu devido à baixa concentração de  $O_2$ , interferindo substancialmente na produtividade de grãos.

Outro fator relacionado a água é a ocorrência de chuvas no final do ciclo da cultura, entre a maturidade fisiológica e o ponto de colheita, as quais podem acarretar em severas perdas na qualidade do cereal, assim como em sua produtividade, principalmente pela ocorrência da germinação pré-colheita (LANG et al., 2021). Esse termo é empregado para designar o processo no qual ocorre a germinação de sementes fisiologicamente maduras ainda presentes na espiga, ou seja, antes da colheita (BASSOI, 2004).

As perdas ocasionadas pela germinação pré-colheita além de diminuir o potencial de rendimento das lavouras, afeta o peso hectolitro, inviabiliza a produção de sementes e a qualidade tecnológica do trigo, comprometendo o produtor rural e a indústria pela redução nas características quantitativas e qualitativas do trigo (CARVALHO; BELEIA, 2015; COSTA; ZUCARELI; RIEDE, 2013), isso porque o processo germinativo dispara uma sequência de processos fisiológicos, os quais, entre outros, incluem a liberação de hormônios e enzimas hidrolíticas.

Estima-se que cerca de 10 a 15 mm de chuva, seja o mínimo necessário para início do processo germinativo, porém a intensidade da chuva possui influência sobre brotação, sendo que chuvas mais espaçadas em um determinado período de tempo tendem a favorecer a embebição das sementes. Para cultivares suscetíveis, durante a maturação de colheita, o grão precisa permanecer úmido por cerca de dois dias para germinação (MARES; MRVA, 2014).

Em regiões marítimas com verão chuvoso e em regiões subtropicais, onde o trigo de primavera é cultivado durante o inverno, como em alguns locais do Brasil, existe alta probabilidade da ocorrência de germinação dos grãos na época pré-colheita (BASSOI, 2004).

Outro fator de extrema importância que afeta a cultura é a radiação solar. A radiação interfere no crescimento e desenvolvimento das plantas e conseqüentemente na produção de biomassa, o que está relacionado diretamente à quantidade de radiação fotossinteticamente

ativa, interceptada e absorvida pelas folhas, e pela eficiência de conversão da energia radiante em energia química, através da fotossíntese (HEINEMANN et al., 2006). Moreira et al. (2006) relatam que deve-se considerar além dos aspectos relacionados à arquitetura da planta, espaçamento entre plantas, disposição das linhas de semeadura e outros, que visam aumentar a absorção da radiação fotossinteticamente ativa incidente, também a eficiência com que essa radiação absorvida é convertida em fotoassimilados e direcionada para a produção de grãos.

Existem diversas respostas das plantas ao comprimento do dia (fotoperíodo), com relação ao requerimento de horas-luz necessárias para indução da fase reprodutiva. Segundo Ribeiro et al. (2009), a sensibilidade do trigo ao fotoperíodo, parece ocorrer de forma relativamente independente nas diferentes fases de desenvolvimento, assim como a resposta varia conforme o genótipo, que responde de modo diferente ao comprimento do dia.

A resposta ao fotoperíodo curto pode aumentar o número final de folhas das plantas de trigo, sendo uma adaptação que aumenta a longevidade das plantas (BROOKING et al., 1995), o que acarreta na redução da taxa de desenvolvimento das plantas durante o inverno, possibilitando a antese após o inverno, quando as temperaturas estão mais elevadas e consequentemente diminui-se o risco de geadas durante a antese (FREITAS; SOUZA; SILVA, 2011). Miralles e Richards (2000), observaram a redução do número de perfilhos por folha emergida em função do aumento do fotoperíodo e destacaram que a taxa de surgimento de perfilhos aumenta quando as plantas se desenvolvem em fotoperíodo curto e decrescem quando transferidas para o longo.

Além do comprimento do dia ser um fator que afeta diretamente o desenvolvimento das plantas, as variações nas condições de luz do ambiente também promovem mudanças. A interceptação de luz pela cultura, que pode ser determinada pelo nível de competição estabelecida, promove alterações na elongação do colmo, internós de planta e afeta o desenvolvimento dos perfilhos. Assim, o sistema de manejo ao qual as plantas são submetidas está diretamente relacionado à síntese e aproveitamento dos fotoassimilados, influenciando na sobrevivência de perfilhos (VALÉRIO et al. 2009).

Segundo Almeida e Mundstock (2001), a melhoria da qualidade da luz (adicionando luz vermelha) proporciona maior emissão de perfilhos e distribuição mais equilibrada de matéria seca entre eles e o colmo principal, no entanto, a diminuição na qualidade da luz, adicionando luz vermelha extrema ou utilizando filtro verde da entrelinha, acarretou em maior acúmulo de massa seca no colmo principal, diminuindo a emissão de perfilhos, ou produzindo-os com menor massa seca. Esses efeitos também foram observados por Alves (1998), este autor verificou que quando se utiliza populações com elevada densidade de

plantas ocorre um maior fechamento do dossel que absorve a luz vermelha na parte superior e deixa passar a luz vermelho extremo para as camadas inferiores do dossel, reduzindo o perfilhamento pela maior incidência de luz vermelho extremo.

Além disso, a luz tem influência direta na produção dos fotoassimilados. Próximo à antese, a maior disponibilidade de assimilados pode representar mais flores férteis, capazes de produzir mais grãos e de maior tamanho, assim como maior capacidade de formar grãos cheios (RODRIGUES, 2000; SILVA et al., 2003).

Segundo Borrás et al. (2004), o trigo quando submetido a redução da superfície de interceptação de luz, em condições de estresse e em ambientes limitantes, não perde em massa de matéria seca dos grãos na mesma intensidade em que as mudanças impostas na superfície de interceptação de luz, ou seja, a massa da matéria seca dos grãos responde marginalmente a mudanças ocorridas na fotossíntese durante seu enchimento. Essa capacidade da planta é devido ao armazenamento inicial dos fotoassimilados, que quando armazenados antes do início do enchimento de grãos, contribuem em torno de 50% da sua massa final (GENT, 1994).

### 2.1.2 Formação e composição das sementes de trigo

O desenvolvimento das sementes ocorre em três fases principais: embriogênese, maturação e maturação tardia. Durante a embriogênese, que é controlada geneticamente pela espécie, acontecem a histodiferenciação e a expansão celular, impactando o embrião, o endosperma e o tegumento (BEWLEY et al., 2013). Nessa fase, o controle hormonal regula as divisões e o crescimento das células, resultando na formação do pró-embrião, que é sustentado pelo suspensor. O suspensor tem a função de fornecer suporte físico e nutricional ao embrião, que, ao completar seu desenvolvimento, já terá formado todos os órgãos primordiais da futura planta (MARCOS FILHO, 2015).

Simultaneamente ao desenvolvimento do embrião, o endosperma também se forma a partir de seu núcleo. Por meio de sucessivas divisões, o endosperma se torna uma massa celular que preenche o espaço não ocupado pelo embrião, sendo alimentado pelas transferências de massa seca da planta-mãe para a semente em desenvolvimento (MARCOS FILHO, 2015). O trigo, espécie monocotiledônea, é classificado como semente endospermática, na qual as reservas do endosperma serão futuramente utilizadas no processo de germinação, para o desenvolvimento do embrião.

Após a primeira fase da formação, a semente entra no processo de maturação, no qual os traços de qualidade fisiológica são adquiridos. Delouche (1980) descreve a maturação como um processo de alterações morfológicas, físicas, fisiológicas e bioquímicas, que ocorrem a partir da fecundação do óvulo até o desligamento fisiológico da planta-mãe. Durante a maturação, é determinada a capacidade de germinação (germinabilidade), seguida pela aquisição da tolerância à dessecação e posterior obtenção da longevidade (BEWLEY et al., 2013). Ainda nesta etapa, o vigor da semente começa a ser definido. No final da maturação, caracterizada como maturação tardia, a semente adquire especificidades como acúmulo e síntese de moléculas protetoras, como açúcares não redutores (HOEKSTRA, GOLOVINA; BUITINK, 2001), proteínas abundantes da embriogênese tardia (LEAs) (CHATELAIN et al., 2012; HUNDERTMARK et al., 2011), proteínas de choque térmico (PRIETO-DAPENA et al., 2006) e proteínas de estresse (SUGLIANI et al., 2009).

A semente de trigo após formada, também conhecida como cariopse, é um fruto seco e indeiscente que mede em torno de 6-7 mm. Cada flor gera apenas uma semente, estas podem ter formatos variáveis, de curtos e arredondados a compridos e estreitos (SCHEEREN; CASTRO; CAIERÃO, 2015).

A semente é constituída basicamente pelo pericarpo, endosperma e embrião (gérmen). Contém também, uma camada de aleurona, a qual envolve completamente o endosperma e o gérmen (GWIRTZ; WILLYARD; MCFALL, 2014). O endosperma representa de 81 a 85% do grão; o germe (embrião) de 2,5 a 3,6% e o pericarpo de 14 a 15% (ABECASSIS; SHEWRY, 2009).

O pericarpo, camada mais externa da semente, é derivado do ovário dos frutos e é constituído pelo endocarpo, epicarpo e epiderme. É fundido ao tegumento da semente em toda sua extensão. Sua principal função depois de formado é manter as partes unidas e proteger as partes internas (MARCOS FILHO, 2015). Em sua composição, há grandes teores de fibras, minerais, pentosanas, celulose e cinzas (DELCOUR; HOSENEY, 2010; EVERS; MILLAR, 2002).

Unida ao endosperma, logo abaixo do pericarpo, está situada a camada de aleurona, a qual é composta por fibras, cinzas (fósforo e fitato), vitaminas do complexo B e E, proteínas e minerais importantes na síntese enzimática. Essas são essenciais para o início do processo germinativo, e como fonte de aminoácidos para a síntese de novas proteínas (CORRÊA; SILVA, 2008).

O endosperma, o qual representa a maior porção das sementes, é um tecido de reserva que contém uma matriz proteica, onde estão inseridos grande número de grânulos de amido,

sendo fonte de matéria prima para produção de farinha branca. Os carboidratos presentes no endosperma, em sua maioria amilose e amilopectina, também são fonte de energia para o processo germinativo, sendo mobilizados ao embrião para o crescimento da plântula (EICHELBERGER, 2011).

Por fim, o embrião, é constituído pelo escutelo e um eixo embrionário composto pelo coleóptilo, a plúmula, o mesocótilo, os tecidos não desenvolvidos (primórdios) das três primeiras folhas da planta, a radícula (primeira raiz) e a coleorriza (EVERS; MILLAR, 2002; FORNASIERI FILHO, 2008) e está localizado no terço inferior da semente. Possui alto teor de lipídeos, antioxidantes, vitaminas, minerais e enzimas (DELCOUR; HOSENEY, 2010).

## 2.2QUALIDADE DE SEMENTES

A qualidade de sementes é definida como a expressão da interação de componentes genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários (FANAN et al., 2006; MARCOS FILHO, 2015; POPINIGIS, 1985). A partir desse princípio, a utilização de sementes de alta qualidade, determinada pelo somatório dos atributos citados, está atrelada ao sucesso produtivo de uma cultura, que é também resultado do potencial produtivo do genótipo (característica intrínseca) condicionado por diversos fatores ambientais durante o seu desenvolvimento (MARCOS FILHO, 2015).

A obtenção de elevadas produtividades inicia-se com a utilização de sementes de alta qualidade, com potencial para gerar plântulas bem desenvolvidas e vigorosas, com maior velocidade de germinação e que promovem um adequado estabelecimento e uniformidade no campo, além de maior resistência às condições adversas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; PANOZZO et al., 2009; SCHEEREN et al., 2010).

Em condições adversas de clima, como estresse ocasionado por seca ou baixa temperatura do solo no período de emergência, lavouras provenientes de sementes de alta qualidade são menos suscetíveis aos danos quando comparadas às de baixa qualidade, acarretando maiores produtividades (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; FRANÇA NETO, KRZYZANOWSKI; HENNING, 2010).

A qualidade genética é outro parâmetro que deve ser considerado, com objetivo de reprodução das plantas sem perder as características selecionadas pelos melhoristas para a cultivar em questão. Além da pureza varietal e das características intrínsecas da cultivar, a qualidade genética está atrelada ao potencial produtivo, resistência às pragas e doenças,

precocidade, qualidade do grão, altura e estrutura de planta, resistência às condições adversas de solo e climáticas (EICHELBERGER, 2011).

Após a maturidade fisiológica, as sementes ainda estão suscetíveis aos danos, como no momento da colheita, visto que além da possibilidade de quebra e injúrias nas sementes, pode ocorrer a colheita de inúmeras espécies juntamente com a cultura comercial de interesse. Uma das práticas para evitar a contaminação é a remoção manual das plantas de outras espécies que estejam presentes na área (EICHELBERGER, 2011). No entanto, caso ocorra a contaminação, no beneficiamento de sementes é possível alcançar a qualidade física desejada do lote, e elevar a porcentagem de sementes puras, através da separação e eliminação das frações constituídas por sementes de pequeno tamanho e baixa massa específica (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Quanto à qualidade sanitária, esta é determinada pelo grau de ocorrência de microrganismos (fungos, bactérias, vírus e nematoides) e insetos que causam doenças ou danos às sementes no armazenamento, ou que podem ser transmitidos via sementes, sendo capazes de causar doenças e reduções na produtividade das culturas no campo (BRASIL, 2010).

O potencial fisiológico compreende a capacidade das sementes de desempenhar suas funções vitais, relacionadas à longevidade, germinação e vigor (MARCOS FILHO, 2015). A importância da qualidade fisiológica de sementes é descrita como fator chave para melhorar e estabilizar a produtividade (LEPRINCE et al., 2017), e está associada a germinação rápida e uniforme, alto vigor e capacidade de armazenamento (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016; POPINIGIS, 1985).

Dentre os fatores que podem afetar o potencial fisiológico, pode-se citar o genótipo, a ocorrência de insetos e micro-organismos nocivos como patógenos transmissores de doenças, as variações climáticas durante o desenvolvimento das sementes, fornecimento de nutrientes, a época de semeadura e da colheita, assim como o manejo durante a colheita que pode ocasionar injúrias mecânicas, que se estende até as condições de secagem e beneficiamento, tratamento químico e as condições e período de armazenamento (MARCOS FILHO, 2013; 2015).

Para determinar a qualidade fisiológica das sementes, deve-se considerar os parâmetros viabilidade e vigor. Na avaliação da viabilidade são empregados os testes de germinação e tetrazólio, no entanto para estimar o vigor, devem-se considerar testes mais específicos, os quais podem considerar condições de estresse ou através da mensuração do declínio de alguma função bioquímica ou fisiológica (KRZYZANOWSKI; VIEIRA;

FRANÇA NETO, 2020).

### 2.2.1 Deterioração de sementes

Ao atingir a maturidade fisiológica, a semente também atinge sua matéria seca máxima e o máximo de germinação e vigor. Após esse ponto inicia-se a deterioração das sementes, que é um processo cumulativo, irreversível, degenerativo e inexorável (KAPOOR et al., 2011; KRZYZANOWSKI et al., 2008).

O processo de deterioração de sementes é um fenômeno parcialmente elucidado que ocorre em diferentes fases. Na primeira fase, ocorre o início do processo de deterioração, caracterizado por uma leve redução no vigor devido às reações entre açúcares redutores, enzimas antioxidantes e material genético. Na segunda fase, observam-se danos oxidativos na célula, resultando em peroxidação lipídica, o que provoca a liberação de solutos, formação de malondialdeído e, conseqüentemente, aumento dos danos ao material genético. Na terceira fase, ocorre o colapso celular com desintegração da membrana mitocondrial e elevado acúmulo de espécies reativas de oxigênio, malondialdeído e açúcares redutores (EBONE et al., 2019).

Durante o processo de deterioração ocorre o consumo das reservas da semente, o que impacta negativamente no seu vigor. A massa das plântulas é altamente dependente da massa das sementes, portanto as reduções de reserva que surgem desde a colheita até a emergência reduzem o crescimento das plântulas. Conseqüentemente, produzem-se plântulas menos vigorosas e com menor capacidade de estabelecimento em condições adversas ou restritivas (EBONE et al., 2019).

Diversos são os fatores que contribuem na deterioração, como temperatura, umidade relativa do ar, a composição das sementes e o ataque de pragas e microorganismos (JYOTI; MALIK, 2013). Além disso, esse processo pode ser acelerado conforme condições ambientais adversas (KAPOOR et al., 2010).

Dessa forma, estudos sugerem a colheita o quanto antes, assim que as sementes atinjam sua umidade ideal, visando a garantia de sua qualidade relacionada à germinação e ao vigor. Se as sementes forem mantidas na planta mãe após a maturidade, estarão sujeitas ao armazenamento no ambiente que resultam em alterações fisiológicas que comprometem seu desempenho futuro, assim como aceleram o processo de deterioração (KHATUN; KABIR; BHUIYAN, 2009; JYOTI; MALIK, 2013).

A maturidade fisiológica do trigo é atingida em torno de 26 a 30 dias após a fecundação do óvulo, quando acumula seu máximo teor de matéria seca, elevada capacidade germinativa, e apresenta um conteúdo de água de aproximadamente 30 a 35% (FORNASIERI-FILHO, 2008). No entanto, a colheita nesse ponto não é recomendada por causar danos mecânicos irreversíveis na semente, sendo necessária a permanência no campo até redução no teor de água para 16 a 18% (BEVILAQUA; EICHELBERGUER, 2004; FORNASIERI-FILHO, 2008). Caso a colheita demore para acontecer, na presença de precipitação ou elevada umidade, pode ocorrer a germinação precoce da semente, iniciada a partir da embebição de água. (BASSOI, 2004).

Dessa forma, para obter sementes de alta qualidade fisiológica, é fundamental determinar a época ideal de colheita, que geralmente corresponde ao momento em que a maturidade fisiológica é atingida a qual coincide com o ponto de máxima matéria seca, alto vigor e alta germinação das sementes (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Sendo assim, a época da colheita também afeta seu posterior armazenamento (KHATUN; KABIR; BHUIYAN, 2009).

O atraso na colheita sob condições ambientais adversas, ataques de insetos e microrganismos aumenta a probabilidade de deterioração das sementes (RAMOS et al., 2021). Esses danos podem ser ainda mais severos em regiões tropicais, devido ao clima quente e úmido, que acelera o processo de deterioração das sementes (FORTI et al., 2015).

Estudos sobre maturação e colheita de sementes são importantes para minimizar os efeitos da deterioração causada pelo tempo prolongado no campo (RAMOS et al., 2021). A colheita tardia pode reduzir significativamente a qualidade da semente devido ao envelhecimento, a fatores ambientais adversos ou a danos ao embrião durante a colheita (RAHBARI; MADANDOUST, 2024). Portanto, determinar o momento certo de colheita é crucial para garantir a qualidade das sementes (BENASEER et al., 2018).

### 2.2.2 Épocas de semeadura e colheita

A qualidade das sementes está diretamente relacionada a fatores bióticos e abióticos adversos que ocorrem desde a sua formação até a colheita, os quais podem afetar os processos fisiológicos e bioquímicos da planta mãe ou das sementes em desenvolvimento, tornando-as mais suscetíveis ao processo de deterioração (KOCH et al., 2017).

A época de sementeira é um dos principais fatores que determinam a capacidade da cultura de resistir a diferentes condições ambientais, como temperatura do ar e umidade. Escolher a data de sementeira adequada é crucial para garantir que a cultura esteja no campo em um período em que as condições ambientais sejam favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas (KOCA; CANAVAR, 2014).

A época de sementeira é determinada por um conjunto de fatores ambientais que interagem entre si e com a planta, resultando em variações nas características agrônomicas e na qualidade das sementes (CÂMARA, 1991). Entre os riscos climáticos mais significativos estão geadas próximas ao período de florescimento, períodos de seca após a sementeira e durante os estágios iniciais de enchimento de grãos, além de chuvas prejudiciais durante a colheita (BRASIL, 2024).

A data de sementeira e a escolha de locais com climas variados podem influenciar a qualidade do trigo, ajustando as condições ambientais durante o enchimento dos grãos. O período de florescimento, determinado pela época de sementeira, local e fotoperíodo, altera as condições ambientais antes e durante o enchimento dos grãos. Genótipos semeados tardiamente podem enfrentar altas temperaturas e estresse hídrico, o que impacta negativamente a qualidade dos grãos (AHMED, 2015). Semeaduras mais tardias em trigo, tendem a reduzir o rendimento devido à diminuição da radiação solar acumulada e ao aumento da temperatura média diária (ZHANG et al., 2022). Um estudo realizado no Canadá, utilizou modelos climáticos para avaliar os impactos de semeaduras mais precoces no rendimento do trigo de primavera e os resultados obtidos sugerem que, com o aquecimento global, antecipar a sementeira pode ser uma estratégia eficaz para aumentar o rendimento e reduzir os riscos climáticos, desde que as condições de umidade e temperatura sejam adequadas (HE et al., 2012).

Assim, os produtores devem estar atentos à época ideal de sementeira para minimizar os riscos de perda de produtividade e qualidade das sementes. É essencial seguir as recomendações do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) e considerar o histórico climático da região para definir o momento mais adequado para a sementeira (BRASIL, 2024).

A diversificação das épocas de sementeira e das cultivares utilizadas em uma mesma propriedade pode reduzir os riscos causados por adversidades climáticas sobre a qualidade das sementes (FORNASIERI FILHO, 2008). Dessa forma, o impacto negativo do ambiente pode ser parcialmente mitigado com a programação adequada da sementeira, garantindo que a

maturação e a colheita ocorram em condições climáticas mais favoráveis, sem a interferência de chuvas, ou através da regionalização da produção de sementes.

### 2.2.3 Germinação pré-colheita

A germinação na espiga de trigo quando a planta está em campo é um problema frequente enfrentado pela triticultura. Essa pré-disposição das sementes germinarem está relacionada com a ausência da dormência no momento da maturidade dos grãos (RODRÍGUEZ et al., 2015).

A dormência é caracterizada pela inibição da germinação mesmo quando a semente fisiologicamente madura é exposta às condições adequadas de umidade, temperatura, luz e oxigênio (CASTRO et al., 2004; CASTRO; BRADFORD; HILHORST, 2008). Assim, uma dormência moderada a alta é necessária para proteger contra essa condição (RODRÍGUEZ et al., 2015).

O desenvolvimento da dormência na semente ocorre justamente para preservação da espécie. Esta é pré-estabelecida durante a maturação, em resposta a combinação de condições ambientais específicas, que provocam a interferência de um ou mais mecanismos de bloqueio, que impedem a ativação da sequência metabólica que culmina com a germinação (MARCOS FILHO, 2015). É geralmente induzida durante o desenvolvimento do núcleo e depende das condições ambientais, bem como das propriedades fisiológicas, morfológicas e genéticas dos cereais (DE LAETHAUWER et al., 2013).

Neste processo de aquisição da dormência, os hormônios são os mensageiros dos estímulos ambientais que a ativam, da mesma forma que promovem o processo de germinação (MARCOS FILHO, 2015). Este é ativado a partir da embebição da semente, e induz a síntese de amilases e então ocorre o processo de hidrólise das reservas de carboidratos, destinados ao consumo e desenvolvimento do embrião (BASSOI, 2004). A dormência em sementes ocorre devido à ausência de expressão das enzimas envolvidas no processo de germinação.

Quando a dormência não é adquirida, pode ocorrer a germinação prematura das sementes, quando expostas às condições de umidade elevadas após maturidade fisiológica (HILHORST, 1995), acarretando prejuízos, inviabilizando a produção de sementes e a qualidade tecnológica dos grãos.

Os danos causados pela germinação pré-colheita têm sido frequentemente associados ao aumento dos níveis de atividade da  $\alpha$ -amilase. Em trigo, quando o processo de germinação é iniciado, ocorre o aumento da atividade da  $\alpha$ -amilase, a qual será utilizada na quebra do amido. Esta enzima pode ser acumulada no pericarpo dos grãos no início da formação, na pré-maturação antes da indução da dormência e após maturação fisiológica quando há superação da dormência (CUNHA; PIRES; PASINATO, 2004).

A atividade de  $\alpha$ -amilase em cereais é afetada por fatores ambientais e genéticos, e pela interação entre os fatores, com destaque principal para a temperatura, que é o fator ambiental provavelmente mais influente na atividade da enzima (DE LAETHAUWER et al., 2013).

Franco et al. (2009) sugerem que a capacidade de manutenção da dormência é o fator mais importante a ser considerado em um programa de melhoramento de trigo visando a tolerância à germinação. Os autores afirmam que quando cultivares apresentarem alta resistência a germinação, ou seja, dormência efetiva na semente, poderá propiciar um novo marco para a cultura do trigo em regiões sujeitas à germinação antes da colheita, atendendo as padronizações exigidas pela indústria, impulsionando a triticultura. Dessa forma, estudos abrangendo a influência do ambiente sobre a produção e qualidade fisiológica da semente são fundamentais.

#### 2.2.4 Respostas bioquímicas das plântulas ao estresse

As plantas superiores quando impostas às condições de estresse biótico e abiótico induzem ao acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs) nas células, as quais podem causar danos às estruturas celulares e até mesmo acarretar na morte da planta, causando o chamado estresse oxidativo (BARBOSA et al., 2014; PRODANOVIC et al., 2007). As EROs são produtos tóxicos resultantes da redução do oxigênio molecular, como o ânion superóxido ( $O_2^-$ ), o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e o radical hidroxila ( $OH^\cdot$ ), cada um com diferentes capacidades de causar danos às células (MILLER et al., 2010).

As plantas respondem ao acúmulo de EROs de maneira bioquímica e fisiológica através do seu sistema de defesa, visando a proteção do organismo contra o estresse oxidativo pela eliminação das EROs. Essas defesas por sua vez, podem ser classificadas em enzimáticas ou não enzimáticas, que, de forma conjunta, atuam na eliminação das EROs e na redução do

dano oxidativo. Quando enzimática, verifica-se aumento na atividade de enzimas como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), glutathione peroxidase (GPH-Px), glutathione reductase (GPHR), dentre outras (BARBOSA et al., 2014; FERREIRA; ABREU, 2007).

Essas enzimas atuam como mecanismos de defesa das células contra as EROs, favorecendo a qualidade fisiológica das sementes (MARTINS et al., 2012). Dentre essas enzimas presentes nas células, a SOD destaca-se por ser responsável pela dismutação do superóxido ( $O_2^-$ ) em peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e oxigênio molecular ( $O_2$ ), sendo considerada a primeira linha de defesa antioxidativa enzimática na célula vegetal (FOYER; NOCTOR, 2009). O peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) gerado pela ação da SOD deve ser convertido em água ( $H_2O$ ) por outras enzimas, como a APX, a CAT e a peroxidase (POD), pois o peróxido também é tóxico quando acumulado nas plantas (LIRA et al., 2018). A CAT converte o  $H_2O_2$  em água e oxigênio molecular, enquanto a APX e a POD requerem um redutor para converter o  $H_2O_2$  em água (MILLER et al., 2010).

As defesas antioxidantes enzimáticas são em grande número e encontram-se espalhadas por todo o organismo, tanto no meio intracelular como no meio extracelular, pois a produção e eliminação das EROs nas células é constante. Nas células vegetais, as mitocôndrias são os principais locais para a geração de EROs, de acordo com um processo fisiológico endógeno e contínuo sob condições aeróbicas (FLEURY; MIGNOTTE; VAYSSIERE et al., 2002).

Naturalmente as EROs estão presentes no processo de germinação de sementes. No início da germinação, desencadeada pela embebição da semente, ocorre o aumento rápido na captação de oxigênio e na fosforilação oxidativa (TOMMASI et al., 2001). Em detrimento deste processo, a mobilização das reservas gera as EROs (PRODANOVIC et al., 2007), as quais se não forem eliminadas podem acarretar em danos peroxidativos, decorrentes principalmente, da deterioração oxidativa de ácidos graxos insaturados das membranas, pela ação das EROs presentes no interior das células (FLORES et al., 2014). Enzimas removedoras de EROs então são fundamentais para conclusão da germinação (BAILLY, 2004).

Cakmak et al. (1993) relataram a capacidade das sementes de trigo em aumentar as atividades das enzimas para a chamada desintoxicação de  $H_2O_2$ , durante a embebição e germinação das sementes, com aumento da atividade das peroxidases durante a emergência das radículas. Os autores ainda afirmaram que a atividade aprimorada das peroxidases nas sementes em germinação pode ser considerada um reflexo das melhorias no crescimento e desenvolvimento do embrião e das plântulas.

A viabilidade das sementes é comprometida devido à deterioração sob condições de envelhecimento natural e artificial nas culturas (LI et al., 2022). Muitas alterações bioquímicas ocorrem quando as sementes se deterioram, sendo ainda difícil separar os eventos primários e secundários. Além disso, diversos são os fatores que podem contribuir para a deterioração das sementes; no entanto, os danos de oxidação causados por radicais livres e EROs são a causa principal (ZHANG et al., 2021).

Assim, quando a semente sofre deterioração, as EROs prejudiciais se acumulam em grande quantidade nas sementes. Em sementes ortodoxas, a deterioração é causada pela redução das enzimas antioxidantes e pelo alto acúmulo de EROs, sendo que a instabilidade do estado intracelular de EROs causa danos oxidativos consequentes, reduzindo a viabilidade das sementes nas plantas (EBONE et al., 2019).

A deterioração das sementes causada por EROs envolve principalmente a peroxidação lipídica, a oxidação de proteínas, danos ao DNA e RNA, e danos ao sistema de reparo. A peroxidação lipídica é o principal fator que influencia essa deterioração, enquanto o excesso de EROs provoca a oxidação de proteínas, contribuindo para o declínio da qualidade das sementes em muitas culturas. Durante a germinação, o sistema de reparo é ativado para mitigar esses danos. Contudo, se a deterioração ultrapassar a capacidade de reparo, a perda de vigor das sementes torna-se irreversível. No geral, os mecanismos moleculares envolvidos na deterioração das sementes ainda não são completamente compreendidos em muitas culturas, como discutido por Li et al. (2022).

Estudos realizados por Bhatia et al. (2010) em sementes de soja expostas às condições adversas, os antioxidantes e enzimas antioxidantes não conseguiram neutralizar os altos níveis de radicais livres, resultando em danos mais rápidos e severos aos tecidos. Em contraste, sementes não expostas às essas condições adversas apresentaram níveis mais baixos de oxirradiacais e níveis mais altos de antioxidantes, suficientes para neutralizar os poucos radicais livres produzidos.

Nesse sentido, o vigor das sementes está intimamente relacionado ao ambiente de maturação, já que flutuações de umidade e temperatura podem ter efeitos prejudiciais sobre esse atributo. Tais condições aceleram a respiração e consomem energia que, de outra forma, seria vital para o desenvolvimento das plântulas (VERGARA et al., 2019). No entanto, ainda são escassos os trabalhos relacionando estresse em detrimento do atraso na colheita e na posterior germinação das sementes.



### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABECASSIS, J.; SHEWRY, P.R. Development, structure and mechanical properties of wheat grain. In: KHAN, K.; SHEWRY, P.S. **Wheat: chemistry and technology**. ed. 4, St Paul, Minnesota (EUA): AACC, 2009, p. 51-95.
- AHMED, M. Response of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) quality traits and yield to sowing date. **PloS one**, v. 10, n. 4, p. e0126097, 2015.
- ALMEIDA, M. L. D.; MUNDSTOCK, C. M. A qualidade da luz afeta o afilamento em plantas de trigo, quando cultivadas sob competição. **Ciência rural**. Santa Maria, v. 31, n. 3, p. 401-408, 2010.
- ALVES, A. C. **Mecanismos de controle do desenvolvimento de filhos em cereais de estação fria**. 1998. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Programa de Pós-graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- BAILLY, C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 14, n. 2, p. 93-107, 2004.
- BARBOSA, M. R.; DE ARAÚJO SILVA, M. M.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.
- BASSOI, M. C. Aspectos gerais da germinação pré-colheita e seu controle genético. In: CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F. **Germinação pré-colheita em trigo**. Passo Fundo, 2004. p. 21-136.
- BASSOI, M. C.; RIEDE, C. R.; CAMPOS, L. A. C.; FOLONI, J. S. S.; NASCIMENTO JUNIOR, A.; GARBUGLIO, D. D.; ARRUDA, K. M. A. **Cultivares de trigo e triticales Embrapa e Iapar**. Londrina: Embrapa Soja. 2016.
- BENASEER, S.; MASILAMANI, P.; ALBERT, V. A.; GOVINDARAJ, M.; SELVARAJU, P.; BHASKARAN, M. Impact of harvesting and threshing methods on seed quality-A review. **Agricultural Reviews**, v. 39, n. 3, p. 183-192, 2018.
- BEVILAQUA, G. A. P.; EICHELBERGUER, L. Germinação e dormência. In: CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F. (Ed.). **Germinação pré-colheita em trigo**. Passo Fundo, 2004. p. 137-180.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 408 p. 2013.
- BHATIA, V. S.; YADAV, S.; JUMRANI, K.; GURUPRASAD, K. N. Field deterioration of soybean seed: Role of oxidative stress and antioxidant defense mechanism. **Journal of Plant Biology**, v. 32, n. 2, p. 179-190, 2010.

BORRÁS, L.; SLAFER, G. A.; OTEGUI, M. E. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.86, n.1, p.131-146, 2004.

BOYER, J.S. Recovery of photosynthesis in sunflower after a period of low leaf water potential. **Plant Physiology**, v.47, p. 816-820, 1971.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria SPA/MAPA nº 372, de 16 de agosto de 2024**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 18 ago. 2024.

BROOKING, I. R.; JAMIESON, P. D.; PORTER, J. R. The influence of daylength on final leaf number in spring wheat. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 41, n. 3, p. 155-165, 1995.

CAKMAK, I.; STRBAC, D.; MARSCHNER, H. Activities of hydrogen peroxide-scavenging enzymes in germinating wheat seeds. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 44, n. 258, p. 127-132, 1993.

CÂMARA, G.M.S. **Efeito do fotoperíodo e da temperatura no crescimento, florescimento e maturação de cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. Viçosa, 1991. 266p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

CAMARGO, C.E.O.; FERREIRA FILHO, A.W.P. Cultivo de trigo duro no Brasil. **O Agrônomo**, v. 52, p. 13-18, 2000.

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

CARVALHO, P. T.; BELEIA, A. D. P. Alterações físico-químicas e atividade enzimática de trigo com germinação pré-colheita. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 524-531, 2015.

CASTRO, R. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M. Embebição e reativação do metabolismo. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2008. p.149-162.

CASTRO, R. D. de; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M. Embebição e reativação do metabolismo. In: FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. **Germinação do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 149-162.

CHATELAIN, E., HUNDERTMARK, M., LEPRINCE, O., GALL, S.L., SATOUR, P., DELIGNY PENNINCK, S., ROGNIAUX, H.; BUITINK, J. Temporal profiling of the heat stable proteome during late maturation of *Medicago truncatula* seeds identifies a restricted subset of late embryogenesis abundant proteins associated with longevity. **Plant, cell & environment**, Oxford, v. 35, n. 8, p. 1440-1455, 2012.

- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira – Grãos**. v. 11 - Safra 2023/24 – Oitavo levantamento, Brasília, 140 p., 2024.
- CORRÊA, P. C.; SILVA, J. S. Estrutura, composição e propriedades dos grãos. In: SILVA, J. S. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**, Viçosa, v. 2, 2008. p. 19-36.
- 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.
- CUNHA, G. R.; PIRES, J. L.; DALMAGO, G. A.; TOMM, G. O. Trigo. In: MONTEIRO, J. E.B.A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. Cap. 8, p.133-149.
- CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F.; PASINATO, A. Introdução ao problema da germinação pré-colheita em trigo no Brasil. In: CUNHA, G.R.; PIRES, J.L.F. **Germinação pré-colheita em trigo**. Passo Fundo, 2004. p. 11-20.
- CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F.; VARGAS, L. **Trigo no Brasil, bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. 488 p.
- CURTIS, B. C. Wheat in the world. In: CURTIS, B. C.; RAJARAM, S.; MACPHERSON, H. G. **Bread wheat Improvement and Production**. FAO Plant Production and Protection Series, n. 30. 2002. 565 p.
- DE BONA, F. D.; DE MORI, C.; WIETHÖLTER, S. Manejo nutricional da cultura do trigo. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 154, p. 1-16, jun. 2016.
- DE LAETHAUWER, S.; DE RIEK, J.; STALS, I.; REHEUL, D.; HAESAERT, G.  $\alpha$ -Amylase gene expression during kernel development in relation to pre-harvest sprouting in wheat and triticale. **Acta physiologiae plantarum**, v. 35 n. 10, p. 2927-2938, 2013.
- DELCOUR, J. A.; HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology**. ed. 3. St. Paul, Minnesota (EUA): AACC, 2010.
- DELOUCHE, J.C. Environmental effects on seed development and seed quality. **HortScience**, Alexandria, v. 15, n. 6, p. 775-780, 1980.
- DIAS, A. S.; LIDON, F. C. Evaluation of grain filling rate and duration in bread and durum wheat, under heat stress after anthesis. **Journal of Agronomy and Crop Science** v. 95, p. 137-147, 2009.
- EICHELBERGER, L. Produção de sementes de trigo. In PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; da CUNHA, G. R. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011.
- EBONE, L. A.; CAVERZAN, A.; CHAVARRIA, G. Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 145, p. 34-42, 2019.

ESSEMINE, J.; AMMAR, S.; BOUZID, S. Impact of heat stress on germination and growth in higher plants: physiological, biochemical and molecular repercussions and mechanisms of defense. **Journal of Biological Sciences**, v.10, n.6, p.565-572, 2010.

EVERS, T.; MILLAR, S. Cereal Grain Structure and Development: Some Implications for Quality. **Journal of Cereal Science**, v. 36, p. 261-284, 2002.

FANAN, S.; MEDINA, P. F.; LIMA, T. C.; MARCOS FILHO, J. Avaliação do vigor de sementes de trigo pelos testes de envelhecimento acelerado e de frio. **Revista brasileira de sementes**, v. 28, n. 2, 152-158, 2006.

FAO, **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2024 disponível em: <http://www.fao.org/home/en>

FARIAS, A.; DOSSA, A.; MINGOTI, R.; ACOSTA, A. D. S.; da CUNHA, G. R.; SPADOTTO, C. Dinâmica espacial da cultura do trigo no Brasil no período de 1990 a 2014. **Embrapa Gestão Territorial-Documents (INFOTECA-E)**. 2017, 29 p.

FERREIRA, I. C. F. R.; ABREU, R. M. V. Stress oxidativo, antioxidantes e fitoquímicos. **Bioanálise**, p. 32-39, 2007.

FINCH-SAVAGE, W. E.; BASSEL, G. W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 67, n. 3, p. 567-591, 2016.

FLEURY, C.; MIGNOTTE, B.; VAYSSIÈRE, J. Mitochondrial reactive oxygen species in cell death signaling. **Biochimie**, v. 84, n. 2-3, p. 131-141, 2002.

FLORES, A. V.; DE LIMA, E. E.; GUIMARÃES, V. M.; DE CARVALHO GONÇALVES; J. F., DA MATA ATAÍDE, G.; DE PÁDUA BARROS, D. Atividade enzimática durante a germinação de sementes de *Melanoxylon brauna* Schott sob diferentes temperaturas. **Cerne**, v. 20, n. 3, 401-408, 2014.

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

FORTI, V. A.; CICERO, S. M.; INOMOTO, M. M.; SLIWINSKA, E.; VAN DER SCHOOR, R.; JALINK, H. *Meloidogyne javanica* infection of soybean plants: plant response, seed quality and green seeds occurrence. **Seed Science and Technology**, v. 43, n. 3, p. 409-420, 2015.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox regulation in photosynthetic organisms: signaling, acclimation, and practical implications. **Antioxidants & redox signaling**, v. 11, n. 4, p. 861-905, 2009.

FRANÇA NETO, J.; KRZYŻANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. A importância do uso de sementes de soja de alta qualidade. **Informativo Abrates**, v. 20, n. 1, p. 37-38, 2010.

FRANCO, F. D. A.; PINTO, R. J. B.; SCAPIM, C. A.; SCHUSTER, I.; PREDEBON, C. T.; MARCHIORO, V. S. Tolerância à germinação na espiga em cultivares de trigo colhido na

maturação fisiológica. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2396-2401, 2009.

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

FRIZZONE, J. A.; OLITTA, A. F. L. Efeitos da supressão de água em diferentes fases do crescimento na produção do trigo. **Engenharia Rural**, v. 1, n. 1, p. 1-76, 1990.

GENT, M. P. N. Photosynthate reserves during grain filling in winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.159-167, 1994.

GWIRTZ, J. A.; WILLYARD, M. R.; MCFALL, K. L. W. **Wheat: more than just a plant**. In: MÜHLENCHÉMIE. Future of flour: a compendium of flour improvement. 2014. Disponível em: <<http://muehlenchemie.de/english/know-how/future-of-flour.html>>.

HE, Y.; WANG, H.; QIAN, B.; MCCONKEY, B.; DEPAUW, R. How early can the seeding dates of spring wheat be under current and future climate in Saskatchewan, Canada? **PLOS ONE**, v. 7, n. 10, p. e45153-e45153, 2012.

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

HILHORST, H. W. M. 1995. A critical update on seed dormancy. I. Primary dormancy. **Seed Science Research**, v. 5, n. 1, pp. 61-73.

HOEKSTRA, F.A.; GOLOVINA, E.A.; BUITINK, J. Mechanisms of plant desiccation tolerance. **Trends in plant science**, Oxford, v. 6, n. 9, p. 431-438, 2001.

HUNDERTMARK, M.; BUITINK, J.; LEPRINCE, O.; HINCHA, D. K. The reduction of seed-specific dehydrins reduces seed longevity in *Arabidopsis thaliana*. **Seed Science Research**, Cambridge, v. 21, n. 3, p. 165-173, 2011.

JACKSON, M. B.; DREW, M. C. Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In: KPZLOWSKI, T.T. **Flooding and plant growth**. Orlando: Academic Press, 1984, p. 47-113.

JYOTI, J.; MALIK, C. P. Seed deterioration: a review. **International journal of life sciences biotechnology and pharma research**, v. 2, n. 3, p. 374-385, 2013.

JUNGES, A. H.; FONTANA, D. C. Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento de grãos de trigo no Rio Grande do Sul. **Revista Ceres**, v. 58, n. 1, p. 09-16, 2011.

KAPOOR, N.; ARYA, A.; SIDDIQUI, M. A.; AMIR, A.; KUMAR, H.; Seed deterioration in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated ageing. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 9, n. 3, p. 158, 2010.

KAPOOR, N.; ARYA, A.; SIDDIQUI, M. A.; KUMAR, H.; AMIR, A. Physiological and

biochemical changes during seed deterioration in aged seeds of rice (*Oryza sativa* L.). **American Journal of Plant Physiology**, v. 6, n. 1, p. 28-35, 2011.

KHATUN, A.; KABIR, G.; BHUIYAN, M. A. H. Effect of harvesting stages on the seed quality of lentil (*Lens culinaris* L.) during storage. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, v. 34, n. 4, p. 565-576, 2009.

KOCA, Y. O.; CANAVAR, Ö. The effect of sowing date on yield and yield components and seed quality of corn (*Zea mays* L.). **Scientific Papers. Series A. Agronomy**, Vol. LVII, 2014.

KOCH, F.; ZIMMER, G.; MARTINS, A. C.; DOS SANTOS DELIAS, D.; TROYJACK, C.; SZARESKI, V. J.; 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.

KRAMER, P. J. Fifty years of progress in water relations research. **Plant Physiology**, v. 54, n. 4, p. 463-471, 1974.

KRZYŻANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; HENNING, A.A.; COSTA, N.P. **O controle de qualidade agregando valor à semente de soja** – Série Sementes. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 12p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 54).

LAWLOR, D. W.; DAY, W.; JOHNSTON, A. E.; LEGG, B. J; PARKINSON, K. J. Growth of spring barley under drought: crop development, photosynthesis, drymatter accumulation and nutrient content. **Journal of Agricultural Science**, v. 96, n. 1, p. 167-186, 1981.

LANG, J.; FU, Y.; ZHOU, Y.; CHENG, M.; DENG, M.; LI, M.; ... WANG, J. Myb10 D confers PHS 3D resistance to pre harvest sprouting by regulating NCED in ABA biosynthesis pathway of wheat. **New Phytologist**, v. 230, n. 5, p. 1940-1952, 2021.

LEPRINCE, O.; PELLIZZARO, A.; BERRIRI, S.; BUITINK, J. Late seed maturation: drying without dying. **Journal of experimental botany**, v. 68, n. 4, p. 827-841, 2017.

LI, W.; NIU, Y.; ZHENG, Y.; WANG, Z. Advances in the understanding of reactive oxygen species-dependent regulation on seed dormancy, germination, and deterioration in crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 826809, 2022.

LIRA, R. M.; SILVA, Ê. F.; WILLADINO, L.; OLIVEIRA FILHO, R. A.; ANDRADE, G. R. Activity of antioxidative enzymes in watercress and Chinese cabbage plants grown under hydroponic system with brackish water. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 205-210, 2018.

MAJOUL, T.; BANCEL, E.; TRIBOÏ, E.; BEN HAMIDA, J.; BRANLARD, G. Proteomic analysis of the effect of heat stress on hexaploid wheat grain: Characterization of heat-responsive proteins from total endosperm. **Proteomics**, v.3, p.175-183, 2003.

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

MARCOS FILHO, J. Importância do potencial fisiológico da semente de soja. **Informativo**

**Abrates**, v. 23, n. 1, p. 21-24, 2013.

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

MARTINS, D. C.; VILELA, F. K. J.; GUIMARÃES, R. M.; GOMES, L. A. A.; SILVA, P. A. D. Physiological maturity of eggplant seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, p. 534-540, 2012.

MEYER, W. S.; BARRS, W. D.; SMITH, R. C. G.; WHITE, N. S.; HERITAGE, A. D.; SHORT, D. L. Effect of irrigation on soil oxygen status and root and shoot growth of wheat in clay soil. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 36, n. 7, p. 171-185, 1985.

MEZIAT, A.; VIEIRA, R. C. M. T. Política de desenvolvimento produtivo e sua extensão à cadeia produtiva do trigo. In: CUNHA, G.R. **Oficina Sobre o Trigo no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 129 p.

MILLER, G. A. D.; SUZUKI, N.; CIFTCI YILMAZ, S. U. L. T. A. N.; MITTLER, R. O. N. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant, cell & environment**, v. 33, n. 4, p. 453-467, 2010.

MIRALLES, D. J.; RICHARDS, A. Responses of leaf and tiller emergence and primordium initiation in wheat and barley to interchanged photoperiod. **Annals of Botany**, v. 85 n. 5, p. 655-663, 2000.

MOREIRA, J. A. A.; CÁNOVAS, A. D. Eficiência de uso da radiação solar na produtividade do trigo decorrente da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 352-356, 2006.

MORI, C. Aspectos econômicos da produção e utilização. In: BORÉM, A.; SCHEEREN, P.L. **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015, p 11-34.

MOTA, F.S. da. Agrometeorologia do Trigo no Brasil. Campinas, SP: **Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, 1989, 122 p.

MUSICK, J. T.; DUSEK, D. A. Planting Date and Mater Deficit Effects on Development and Yield of Irrigated Winter Wheat 1. **Agronomy Journal**, v. 72, n. 1, p. 45-52, 1980.

PANOZZO, L. E.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S.T.; MIELEZRSKI, F.; PESKE, F.B. Comportamento de plantas de soja originadas de sementes de diferentes níveis de qualidade fisiológica. **Revista de FZVA**, Uruguaiana, v.16, n. 1, p. 32-41, 2009.

PIMENTEL, A. J. B.; ROCHA, J. R. D. A. S. D. C.; SOUZA, M. A. D.; RIBEIRO, G.; SILVA, C. R.; OLIVEIRA, I. C. M. Characterization of heat tolerance in wheat cultivars and effects on production components. **Revista Ceres** v. 62, p. 191-198, 2015.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2. ed. Brasília: AGIPLAN, 289 p. 1985.

PRIETO-DAPENA, P.; CASTAÑO, R.; ALMOGUERA, C.; JORDANO, J. Improved resistance to controlled deterioration in transgenic seeds. **Plant physiology**, Rockville, v. 142,

n. 3, p. 1102-1112, 2006.

PRODANOVIĆ, O.; PRODANOVIĆ, R.; BOGDANOVIĆ, J.; MITROVIĆ, A.; MILOSAVIĆ, N.; RADOTIĆ, K. Antioxidative enzymes during germination of two lines of serbian spruce [*Picea omorika* (Panč.) Purkyně]. **Archives of Biological Sciences**, Oxford, v. 5, n. 3, p. 209-216, 2007.

RAMOS, A. R.; BASSEGIO, D.; NAKAGAWA, J.; ZANOTTO, M. D. Harvest times and seed germination of three safflower genotypes. **Ciência Rural**, v. 51, n. 5, p. 1-7, 2021.

RAHBARI, K.; MADANDOUST, M. The Effect of Seed Moisture Content of Hybrid Maize at Harvest Time on Seed Germination Traits and Antioxidant Enzymes Activity under Simulated Environmental Stresses with Silicon Foliar Application. **Silicon**, p. 1-11, 2024.

RAHMAN, M. A.; CHIKUSHI, J., YOSHIDA, S.; KARIM, A. J. M. S. Growth and yield components of wheat genotypes exposed to high temperature stress under control environment. **Bangladesh Journal of Agriculture Research** v. 34, p. 361-372, 2009.

RIBEIRO, G.; PIMENTEL, A. J. B.; DE SOUZA, M. A.; DA FONSECA, W. B. Estresse por altas temperaturas em trigo: impacto no desenvolvimento e mecanismos de tolerância. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 18, p.133-142, 2012.

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

RICHARDS, R. A. Manipulation of leaf area and its effects on grain yield in droughted wheat. **Australian Journal of Agriculture Research**, v. 34, p. 23-31, 1983.

RODRIGUES, O. Manejo de trigo: bases ecofisiológicas. In: CUNHA, G. R.; BACALTCHUK, B. **Tecnologia para produzir trigo no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Assembléia Legislativa do Rio Grande do Sul, 2000. p.120-169.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M.C.C.; COSTERANO, E.R.; SANA, D. Ecofisiologia de trigo: base para elevado rendimento de grãos. In: PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G.R. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011, p. 427-452.

RODRÍGUEZ, M. V.; BARRERO, J. M.; CORBINEAU, F.; GUBLER, F.; BENECH-ARNOLD, R. L. Dormancy in cereals (not too much, not so little): about the mechanisms behind this trait. **Seed Science Research**, v. 25, n. 2, p. 99-119, 2015.

SANTI, A.; VICARI, M. B.; PANDOLFO, C.; DALMAGO, G. A.; MASSIGNAM, A. M.; PASINATO, A. Impacto de cenários futuros de clima no zoneamento agroclimático do trigo na região Sul do Brasil. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.25, n.2, p.303-311, 2017.

SCHEEREN, B. R.; PESKE, S. T.; SCHUCH, L. O. B.; BARROS, A. C. A. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 3, p. 35-41, 2010.

SCHEEREN, P.L.; CASTRO, R. L.; CAIERÃO, E. Botânica, morfologia e descrição fenotípica. In: BORÉM, A.; SCHEEREN, P.L. **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015, p. 35-55.

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

SCHLEHUBER, A. M.; TUCKER, B. B. Culture of wheat. In: QUISENBERRY, K. S., & REITZ, L. P. **Wheat and wheat improvement**. Madison, v. 13, p. 117-179, 1967.

SHEWRY, P. R. Darwin review, wheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 6, p. 1537-1553, 2009.

SILVA, S. A.; CARVALHO, F. I. F.; NEDEL, J. L.; CRUZ, P. J.; PESKE, S. T.; SIMIONI, D.; CARGNIN, A. Enchimento de sementes em linhas quase-isogênicas de trigo com presença e ausência do caráter “stay-green”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 5, p. 613-618, 2003.

SOUZA, M. A.; PIMENTEL, A. J. B.; RIBEIRO, G. Melhoramento para tolerância ao calor. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. cap.9. p.199-226.

STARK, J. C.; LONGLEY, T. S. Changes in Spring Wheat Tillering Patterns in Response to Delayed Irrigation 1. **Agronomy journal**, v. 78, n. 5, p. 892-896, 1986.

STONE, P.J.; NICOLAS, M.E. Wheat cultivars vary widely in their responses of grain-yield and quality to short periods of post-anthesis heat-stress. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.21, p.887-900, 1994.

SUGLIANI, M.; RAJJOU, L.; CLERKX, E. J.; KOORNNEEF, M.; SOPPE, W. J. Natural modifiers of seed longevity in the Arabidopsis mutants abscisic acid insensitive3 5 (*abi3 5*) and leafy cotyledon1 3 (*lec1 3*). **New Phytologist**, London, v. 184, n. 4, p. 898-908, 2009.

TOMMASI, F.; PACIOLLA, C.; PINTO, M. C.; GARA, L. A. Comparative study of glutathione and ascorbate metabolism during germination of *Pinus pinea* L. seeds. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 52, p. 647- 1654, 2001.

USDA, United States Department of Agriculture. **World Agricultural Supply and Demand Estimates WASDE – 2024**. 2024 Disponível em:  
<<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde>>

VALÉRIO, I. P.; DE CARVALHO, F. I. F.; DE OLIVEIRA, A. C.; BENIN, G.; MAIA, L. C.; SILVA, J. A. G.; ...; DA SILVEIRA, G. Fatores relacionados à produção e desenvolvimento de afilhos em trigo. Factors related to tiller formation and development in wheat. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 30, n. suplemento 1, p. 1207-1218, 2009.

VERGARA, R.; SILVA, R. N. O. D.; NADAL, A. P.; GADOTTI, G. I.; AUMONDE, T. Z.; VILLELA, F. A. Harvest delay, storage and physiological quality of soybean seeds. **Journal of Seed Science**, v. 41, p. 506-513, 2019.

ZHANG, Z.; ZHOU, N.; XING, Z.; LIU, B.; TIAN, J.; WEI, H.; GAO, H.; ZHANG, H. Effects of Temperature and Radiation on Yield of Spring Wheat at Different Latitudes. **Agriculture**, v.12, p. 627, 2022.

ZHANG, K.; ZHANG, Y.; SUN, J.; MENG, J.; TAO, J. Deterioration of orthodox seeds during ageing: Influencing factors, physiological alterations and the role of reactive oxygen species. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, p. 475-485, 2021.

WHITE, J. W. From genome to wheat: Emerging opportunities for modeling wheat growth and development. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 25, n. 2, p. 79-88, 2006.

#### **4 ARTIGO A: qualidade física e fisiológica de sementes de trigo cultivado em diferentes épocas e submetido ao atraso na colheita**

##### **Resumo**

Entre os principais fatores que afetam a cultura do trigo, a época de semeadura e de colheita são altamente dependentes das condições climáticas, influenciando diretamente a produtividade e a qualidade das sementes. Esses fatores aumentam o risco de deterioração no campo e a germinação na espiga, com variações de resposta entre diferentes cultivares. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar em três cultivares de trigo o efeito de duas épocas de semeadura e cinco períodos de atraso na colheita sobre a produtividade e a qualidade física e fisiológica das sementes. As cultivares BRS 220, BRS Gralha Azul e BRS Sanhaço, foram semeadas em duas épocas de semeadura, com colheita em cinco períodos, correspondendo a 0, 7, 14, 21 e 28 dias após a maturação de colheita, configurando o atraso. O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, em parcelas subdivididas com os cultivares nas parcelas e período de atraso de colheita nas subparcelas. A colheita e trilha foram realizadas manualmente. Avaliaram-se a produtividade de sementes, o peso hectolitro, a massa de mil sementes e o teor de água. Para quantificação do potencial fisiológico realizaram-se os testes de germinação, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, comprimento e massa seca de parte aérea e de raiz de plântulas. Na análise estatística, utilizou-se esquema fatorial duplo (cultivares x períodos de atraso). Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Hartley). Em seguida, a análise de variância e teste F ( $p \leq 0,05$ ), e quando constatado efeito significativo dos tratamentos, as médias de cultivares foram comparadas pelo teste de Tukey e as médias dos períodos de atraso da colheita submetidas a análise de regressão. Cada época de semeadura foi avaliada de maneira independente. Os resultados demonstram que o atraso na colheita impacta negativamente a qualidade das sementes e a produtividade do trigo. As cultivares de trigo respondem de maneira diferente ao atraso na colheita, e a presença de alta umidade durante esse período agrava a situação, resultando em uma diminuição progressiva da viabilidade e do vigor das sementes. Após duas semanas de atraso, as reduções são mais severas, e estão atreladas às condições climáticas enfrentadas.

**Palavras-chave:** Estresse abiótico. Deterioração. Germinação pré-colheita. Maturação fisiológica. Potencial fisiológico. *Triticum aestivum*.

## Abstract

Among the main factors affecting wheat crops, sowing and harvesting times are highly dependent on weather conditions, directly influencing seed productivity and quality. These factors increase the risk of field deterioration and pre-harvest sprouting, with varying responses among different cultivars. This study aimed to evaluate the effect of two sowing dates and five delayed harvest periods on seed productivity and physical and physiological quality in three wheat cultivars. The cultivars BRS 220, BRS Gralha Azul, and BRS Sanhaço were sown on two different dates, and harvests were conducted at five intervals: 0, 7, 14, 21, and 28 days after harvest maturity, representing the delay periods. The experiment followed a randomized block design with four replications, using split plots where the cultivars were allocated in the main plots and the harvest delay periods in the subplots. Harvesting and threshing were done manually. Seed productivity, hectoliter weight, thousand-seed mass, and water content were evaluated. Germination tests, first germination count, accelerated aging, and the length and dry mass of shoots and roots of seedlings were used to assess physiological potential. A double factorial design (cultivars x delay periods) was applied for statistical analysis. Data were subjected to normality (Shapiro-Wilk) and homoscedasticity (Hartley) tests. Then, an analysis of variance (ANOVA) and F test ( $p \leq 0.05$ ) were performed. When treatments showed significant effects, the means of the cultivars were compared by Tukey's test, and the harvest delay periods were analyzed by regression. Each sowing season was evaluated independently. The results demonstrate that delayed harvests negatively impact seed quality and wheat productivity. Wheat cultivars respond differently to these delays, with high humidity during the delay period worsening outcomes, resulting in a progressive decline in seed viability and vigor. After two weeks of delay, the reductions became more pronounced, particularly under unfavorable weather conditions.

**Key words:** Abiotic stress. Deterioration. Pre-harvest sprouting. Physiological maturation. Physiological potential. *Triticum aestivum*.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A qualidade das sementes é influenciada por diversos fatores, entre os quais as alterações climáticas durante o ciclo da cultura, como flutuações na temperatura e

precipitação, se destacam como as que mais impactam a produção de sementes, tanto qualitativa quanto quantitativamente (ALI et al., 2018).

As condições ambientais das regiões onde o trigo é cultivado no Brasil favorecem a ocorrência de chuvas no momento da colheita (CUNHA; PIRES; PASINATO, 2004), o que pode, além de atrasar a colheita, resultar em uma acentuada perda do potencial de germinação e da qualidade industrial da maioria das cultivares (FRANCO et al., 2009).

A exposição das sementes às adversidades externas, como temperatura, umidade relativa do ar e ataques de pragas e microrganismos acelera o processo de deterioração, resultando na diminuição da capacidade de sobrevivência das sementes, impactando progressivamente seu desempenho, reduzindo o potencial de germinação e aumentando a susceptibilidade ao dano mecânico e infecções por patógenos (KHAN et al., 2017; JYOTI; MALIK, 2013).

O atraso na colheita, associado às condições de alta umidade, propicia às sementes essa aceleração na deterioração, ou também chamado de envelhecimento das sementes no campo (ALI et al., 2018; RAHBARI; MADANDOUST, 2024), acarretando em diminuição da sua viabilidade, e prejudicando também o seu posterior armazenamento (BEWLEY et al., 2013).

Outra problemática associada a produção de sementes de trigo e também atrelada à alta umidade do ambiente, refere-se à germinação das sementes na espiga, conhecida como germinação pré-colheita. Este é o fenômeno no qual as sementes já maduras germinam diretamente na espiga antes da colheita (YAN et al., 2023). Em regiões com chuvas frequentes na época da colheita, a germinação pré-colheita tem se mostrado um grande desafio para a produção de cereais, com efeitos negativos significativos no rendimento dos grãos e na qualidade do uso final, assim como na produção de sementes, já que a germinação ativa enzimas que degradam o amido e a proteína (LANG et al., 2021).

A germinação pré-colheita é uma característica quantitativa controlada por múltiplos locus de características quantitativas ou genes que são importantes para o cultivo de variedades resistentes a germinação na pré-colheita. Foi descoberto que esse evento é significativamente influenciado por uma variedade de fatores internos, incluindo hormônios vegetais, metabólitos de carboidratos, espécies reativas de oxigênio (ROS), óxido nítrico (NO) e microRNAs (miRNAs). Dentre esses fatores, o ácido abscísico (ABA) e a giberelina (GA) são dois fitohormônios essenciais que integram as redes internas de sinalização, que se expandem em várias direções (TAI et al., 2021).

Pesquisas indicam que a germinação pré-colheita é predominantemente devido à falta

de dormência no momento da maturidade das sementes, sendo desejada uma dormência moderada a alta para proteger contra esse evento (RODRÍGUEZ et al., 2015). No entanto, com o desenvolvimento da indústria agrícola, as sementes com períodos de dormência mais curtos e taxas de germinação mais elevadas estão agora mais alinhados com as necessidades dos mercados internacionais (SATO et al., 2016). Essa característica é portanto determinada pelo genótipo e influenciada pelo ambiente (PENNING, 2023).

Estudos sobre maturação e colheita de sementes são importantes para minimizar os efeitos da deterioração causada pelo tempo prolongado no campo (RAMOS et al., 2021). A colheita tardia pode reduzir significativamente a qualidade da semente devido ao envelhecimento, a fatores ambientais adversos ou a danos ao embrião durante a colheita (RAHBARI; MADANDOUST, 2024). Portanto, determinar o momento certo de colheita é crucial para assegurar a qualidade das sementes (BENASEER et al., 2018).

O efeito do atraso da colheita em sementes de trigo ainda não foi amplamente estudado, sendo necessário elucidar as respostas físicas e fisiológicas das sementes frente à essa condição, bem como sua interação com outros fatores de produção como a época de cultivo e a genótipos. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar em três cultivares de trigo o efeito de duas épocas de semeadura e cinco períodos de atraso na colheita sobre a produtividade e a qualidade física e fisiológica das sementes.

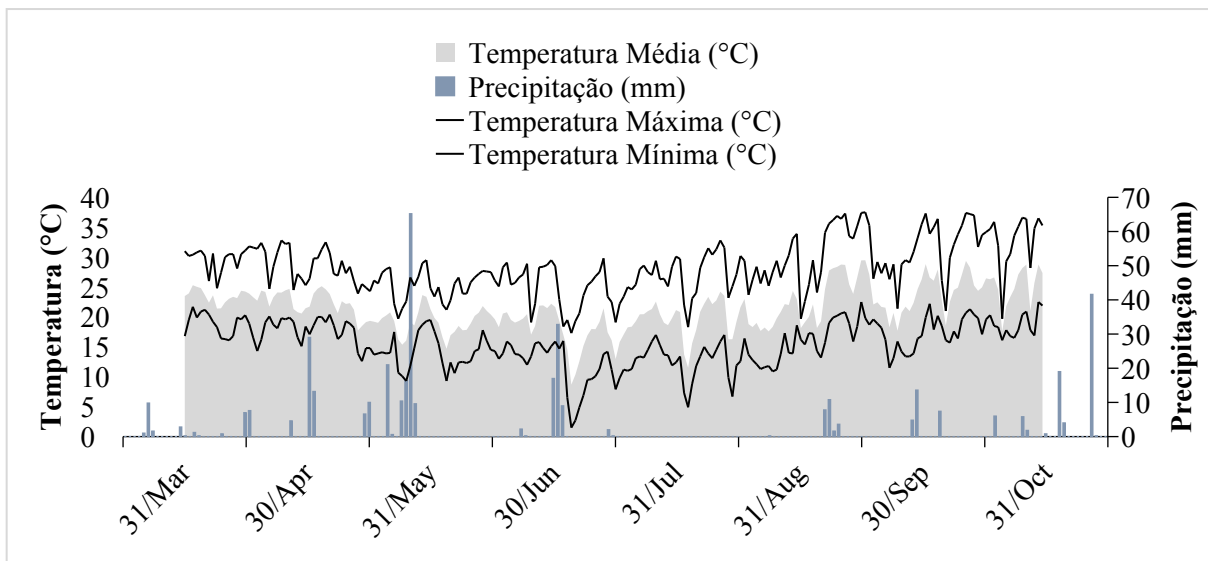
#### 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos a campo foram conduzidos em área experimental da Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, em Londrina-PR, localizada a 23° 23' de latitude Sul, 51° 11' de longitude Oeste e 566 metros de altitude. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Cfa, clima subtropical com temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (NITSCHKE et al., 2019; SIBALDELLI; FARIAS, 2019). Quanto ao solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2018).

A área experimental, manejada em sistema de plantio direto, apresentava como cultura anterior o milho. O solo da área experimental foi coletado previamente para caracterização dos atributos químicos na camada de 0-20 cm que apresentou: pH (CaCl<sub>2</sub>) 5,4; C - 7,7 g kg<sup>-1</sup>;

P (Mehlich 1) - 17,9 mg dm<sup>-3</sup>; H+Al - 4,3 cmolc dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> - 0,4 cmolc dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> - 5,6 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> - 1,3 cmolc dm<sup>-3</sup>; MO - 14,6 g kg<sup>-1</sup> e V - 63,1%. Os dados de temperatura (°C) e precipitação pluviométrica diária (mm) durante o período de desenvolvimento da cultura foram coletados pela estação meteorológica, instalada na área experimental, localizada aproximadamente a 1 km do experimento e estão apresentados na Figura 1.

**Figura 1** - Dados de precipitação pluvial (mm dia<sup>-1</sup>) e temperaturas mínima, máxima e média diária (°C), durante o período de condução dos experimentos em Londrina-PR, 2019.



Fonte: o próprio autor

Os experimentos foram semeados em duas épocas distintas, 16/04 e 16/05 de 2019 e conduzidos em delineamento experimental em blocos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições, em parcelas de 2,5 x 2,5 m com área útil de 2,5 m<sup>2</sup>. Nas parcelas foram alocados os genótipos e nas subparcelas os períodos de atraso na colheita em relação ao tempo de colheita ideal, para cada uma das épocas de cultivo. Dessa forma foram constituídos dois experimentos, em fatorial duplo considerando três cultivares (BRS 220, BRS Sanhaço e BRS Galha Azul) e cinco períodos de atraso na colheita (0, 7, 14, 21, 28 dias após a maturação de colheita).

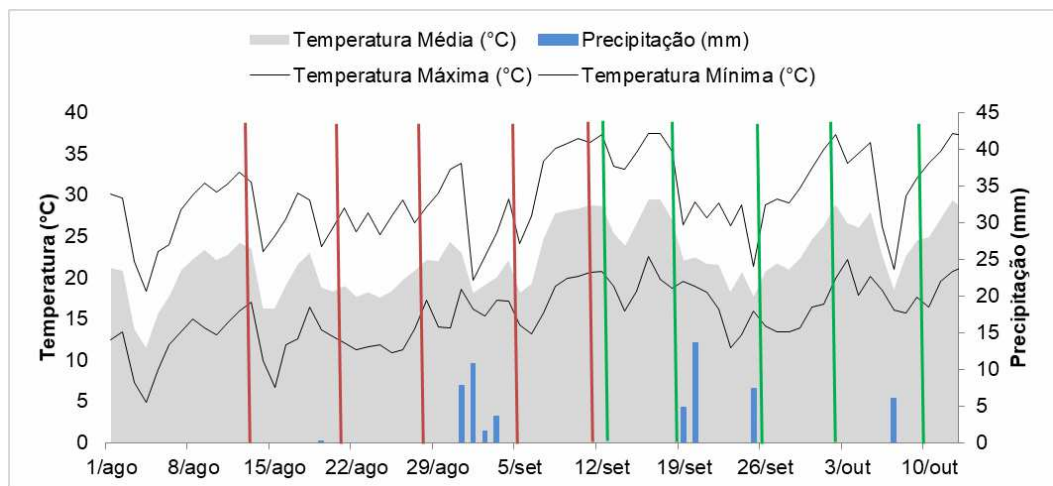
As cultivares utilizadas no experimento foram selecionadas a partir dos resultados de ensaios para os Cultivares de Trigo e Triticale desenvolvidos pela EMBRAPA e IAPAR (BASSOI et al., 2016), de acordo com a sua suscetibilidade à germinação pré-colheita, BRS 220 (suscetível), BRS Sanhaço (moderadamente suscetível) e BRS Galha Azul (boa resistência).

As sementeiras foram realizadas com densidade de 330 sementes por m<sup>2</sup>, em espaçamento entre linhas de 0,17 m, e adubação no sulco com 250 kg ha<sup>-1</sup> de NPK na formulação 10-15-15. Na fase de início do perfilhamento foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura com aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (45% de N).

A primeira colheita foi realizada no ponto de maturação de colheita, com os grãos apresentando umidade inferior a 20%. As demais colheitas foram realizadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a maturação de colheita, correspondendo aos atrasos de 1, 2, 3 e 4 semanas respectivamente. As colheitas foram iniciadas nos dias 14/08 (primeira época de sementeira) e 13/09 (segunda época de sementeira).

Para facilitar a visualização e discussão dos resultados, foi realizado uma aproximação da Figura 1 com as médias dos dados de precipitação pluvial (mm dia<sup>-1</sup>), temperaturas mínima, máxima e média diária ( °C), durante o período das colheitas dos experimentos. Para a primeira época de sementeira, as colheitas estão representadas em vermelho; para a segunda época de sementeira, colheitas representadas na cor verde (Figura 2).

**Figura 2** - Dados de precipitação pluvial (mm/dia) e temperaturas mínima, máxima e média diária ( °C), durante o período de colheitas dos experimentos em Londrina-PR (2019), com indicação das datas de colheita para a primeira época de sementeira (vermelho) e para a segunda época de sementeira (verde).



Fonte: o próprio autor.

Para avaliação do efeito do atraso na colheita, as espigas foram coletadas manualmente, trilhadas, e as sementes foram submetidas às avaliações laboratoriais de qualidade física e fisiológica, conforme metodologias a seguir:

Teor de água: determinado utilizando-se 25 g de sementes para cada repetição, em estufa regulada a  $105 \pm 3$  °C, durante 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes

- RAS (BRASIL, 2009), com os resultados expressos em porcentagem. Os valores obtidos foram utilizados para ajustar as médias de peso hectolitro, peso de mil sementes e produtividade.

Peso hectolitro: determinado por meio de balança Dalle Mole e os resultados expressos em kg hL<sup>-1</sup>.

Peso de mil sementes: obtido pela média de oito subamostras de 100 sementes, por tratamento, e os resultados expressos em gramas (BRASIL, 2009).

Produtividade: obtida por meio da pesagem das sementes colhidas em cada sub parcela experimental e os resultados transformados em kg ha<sup>-1</sup>, com umidade corrigida para 13%.

Germinação: conduzido com oito repetições de 50 sementes, em papel para germinação umedecido com água na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato. Os rolos foram mantidos em germinador a 20 °C e as contagens realizadas aos sete dias após a implantação do teste, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais segundo critérios estabelecidos na RAS (BRASIL, 2009).

Primeira contagem de germinação: realizada juntamente ao teste de germinação, contabilizando as plântulas normais obtidas aos quatro dias após a instalação do teste, com resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Envelhecimento acelerado: conduzido conforme metodologia sugerida pela AOSA (2002), distribuindo as sementes em uma única camada sobre telas de inox, encaixadas em gerbox contendo 40 mL de água e mantidas à temperatura de 41 °C por 72 horas. Após o envelhecimento foram montados os testes conforme metodologia do teste de germinação citada anteriormente, com quatro repetições de 50 sementes de cada tratamento. A avaliação foi realizada ao quarto dia após instalação do teste e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Comprimento de plântulas: 20 sementes de cada tratamento foram distribuídas em papel para germinação umedecido com água na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato, em quatro repetições, e mantidas em germinador a 20 °C por sete dias (KRZYZANOWSKI, VIEIRA; FRANÇA NETO, 2020). Sobre o papel umedecido foram traçadas duas linhas no terço superior, no sentido longitudinal, onde as sementes foram dispostas de forma que o embrião permaneça voltado para a parte inferior do papel. Após sete dias da instalação do teste determinou-se o comprimento das plântulas normais (raiz primária, parte aérea e comprimento da plântula total), utilizando-se régua milimétrica, com resultados expressos em cm por plântula.

Na análise estatística, utilizou-se esquema fatorial duplo (cultivares x períodos de

atraso). Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wylk) e homocedasticidade (Hartley). Em seguida, a análise de variância e teste F ( $p \leq 0,05$ ), e quando constatado efeito significativo dos tratamentos, as médias de cultivares foram comparadas pelo teste de Tukey e as médias dos períodos de atraso da colheita submetidas a análise de regressão. Cada época de semeadura foi avaliada de maneira independente. Para as análises, foi utilizado o Software estatístico R (R CORE TEAM, 2018) e os pacotes AgroR (SHIMIZU; MARUBAYASHI; GONÇALVES, 2024) e AgroReg (SHIMIZU; GONÇALVES, 2023).

#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis peso de mil sementes (PMS), produtividade, peso hectolitro apresentaram um comportamento diferente entre as épocas de semeadura (Tabela 1). Para o PMS, em ambas as épocas de semeadura, a cultivar BRS Gralha-azul apresentou a menor média. Já a cultivar BRS 220, mais suscetível a germinar na espiga, apresentou o maior PMS.

A produção total não diferenciou as cultivares, e, apenas na primeira época de semeadura (EP1), o peso hectolitro diferenciou a BRS 220 com maior peso, enquanto a BRS Sanhaço com o menor peso (Tabela 1).

**Tabela 1** - Análise de variância do peso de mil sementes (PMS), produção (PROD), peso hectolitro (PH) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita nas duas épocas de semeadura.

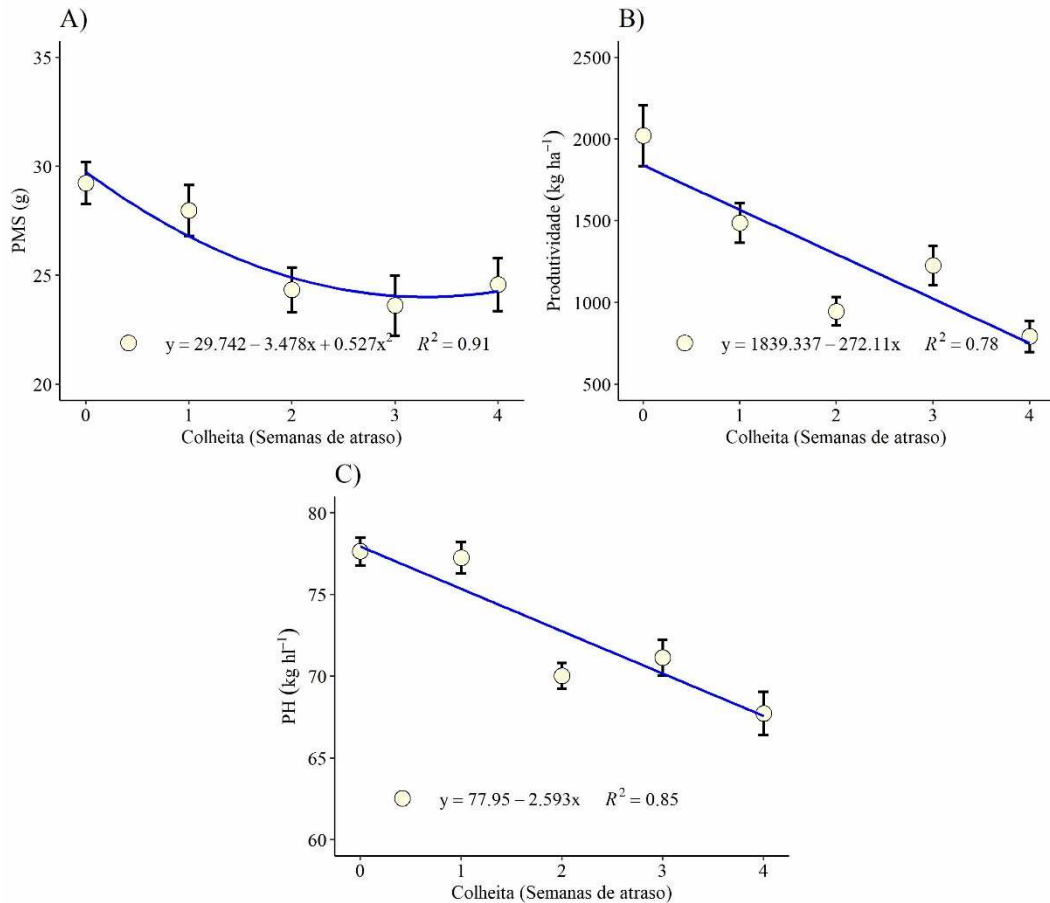
| Cultivares        | Época de semeadura 1(EP1) |        |         | Época de semeadura 2 (EP2) |        |        |
|-------------------|---------------------------|--------|---------|----------------------------|--------|--------|
|                   | PMS                       | PROD   | PH      | PMS                        | PROD   | PH     |
| BRS               | 28,8 a                    | 1281   | 74,0 a  | 28,4 a                     | 1422   | 73,1   |
| GRA               | 22,9 c                    | 1394   | 72,3 ab | 24,5 c                     | 1372   | 74,4   |
| SAN               | 26,2 b                    | 1211   | 72,0 b  | 27,2 b                     | 1531   | 72,9   |
| CV(%)             | 8,533                     | 29,552 | 3,485   | 4,971                      | 17,404 | 1,236  |
| <i>p</i> cultivar | 0,001*                    | 0,325  | 0,039*  | 0,001*                     | 0,135  | 0,001* |
| <i>p</i> colheita | 0,001*                    | 0,001* | 0,001*  | 0,001*                     | 0,001* | 0,001* |
| <i>P</i> F1xF2    | 0,331                     | 0,200  | 0,683   | 0,001*                     | 0,217  | 0,777  |

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na EP1, houve redução gradual dos valores para todas as variáveis (Figuras 3A, 3B e 3C), com perda de aproximadamente 5 gramas até a última semana de atraso para o PMS, uma diminuição de aproximadamente 27% do peso inicial. Já para a produtividade, uma

redução de aproximadamente 271,11 kg ha<sup>-1</sup> para cada semana de atraso, totalizando mais de mil quilos até a última colheita. Essa redução pode ser resultado tanto da diminuição do peso de mil sementes, como por perdas devido ao tempo prolongado no campo, causando a degrana indesejada. O peso hectolitro também demonstrou redução significativa desde o ponto de colheita e a colheita final, com perdas desde a primeira semana de atraso. Com base na equação, a perda média de peso hectolitro por semana de atraso foi de aproximadamente 2,593 kg hl<sup>-1</sup>.

**Figura 3** – Avaliações de peso de mil sementes (PMS) (A); produtividade (PROD) (B) e peso hectolitro (PH) (C), para as cultivares de trigo BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na primeira época de semeadura (EP1).

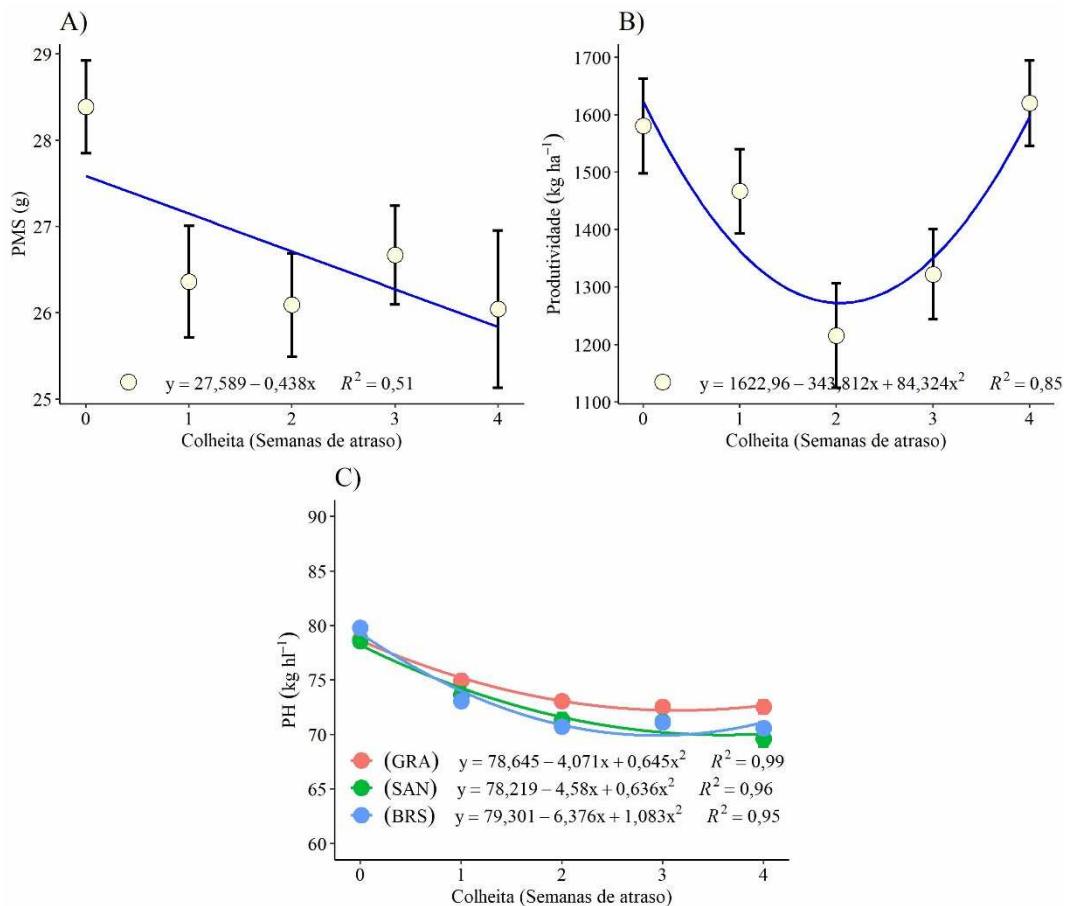


**Fonte:** o próprio autor.

Na segunda época de semeadura (EP2), para o PMS, o ajuste linear indicou redução do peso desde a primeira semana de atraso, com perda total em quatro semanas de aproximadamente 2 gramas, valor menor em relação a EP1 (Figuras 4A, 4B, 4C). Para a

produtividade, houve ajuste quadrático, seguindo uma tendência de queda inicial com o atraso na colheita, atingindo um mínimo entre 2 e 3 semanas de atraso com posterior aumento, comportamento esse não esperado, uma vez que nesta fase a produtividade pode ser no máximo mantida se as condições forem ideais. Se considerarmos até a terceira semana, nota-se redução das médias, a qual era esperada e coerente com o comportamento observado para o peso de sementes e peso hectolitro.

**Figura 4** – Avaliações de peso de mil sementes (PMS) (A), produtividade (PROD) (B) e peso hectolitro (PH) (C), para as cultivares de trigo BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na segunda época de semeadura (EP2).



**Fonte:** o próprio autor.

Segundo a Instrução Normativa no 7 de 15 de agosto de 2001 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2001), o grão do trigo é enquadrado em três tipos em relação ao peso hectolitro: tipo 1 com no mínimo 78 kg hl<sup>-1</sup>, tipo 2 com no mínimo 75 kg hl<sup>-1</sup> e tipo 3 com no mínimo 70 kg hl<sup>-1</sup>. Sendo que o PH mais alto indica sementes mais

densas e bem formadas, mais viáveis e vigorosas. Um peso hectolitro alto está frequentemente correlacionado com um maior tamanho do grão, o que é uma característica desejável para sementes de trigo, pois sementes maiores contêm mais reservas nutricionais para a germinação (ALBERT et al., 2023; AMBIKA; MANONMANI; SOMASUNDARAM, 2014).

No presente trabalho, mesmo no primeiro período de colheita, na EP1 os valores de PH foram baixos, situando-se no tipo 3, com valores que não ultrapassaram 74 kg hl<sup>-1</sup>. Já na EP2 houve um aumento na média em relação a EP1e, até a segunda semana de atraso, o PH situou-se acima de 75 kg hl<sup>-1</sup>. Isso pode ser explicado pois o peso hectolitro em sementes de trigo pode ser influenciado por vários fatores, incluindo condições climáticas, práticas de manejo agrícola e características genéticas das variedades de trigo (GULINO et al., 2023; ZHANG et al., 2022).

Além disso, uma das razões da redução nos valores de qualidade física com o atraso da colheita pode ser pela germinação pré-colheita afeta negativamente a qualidade e o rendimento do trigo (YAN et al., 2023). De acordo com Bhatt et al. (1981), a redução do peso do hectolitro é resultante da alta taxa de respiração, associada aos grãos germinados, que consomem os carboidratos acumulados. A presença de alta umidade, especialmente as chuvas, uma vez absorvida pelas células epidérmicas da semente, ativa a  $\alpha$ -amilase na camada de aleurona, levando à germinação das sementes. Nesse processo, as células epidérmicas são particularmente importantes para a tolerância à germinação na espiga, visto que as variedades com células epidérmicas frouxamente arrançadas são mais propensas a absorver água rapidamente, o que pode levar à germinação pré-colheita. Em contrapartida, as sementes de variedades resistentes à germinação na espiga, têm células epidérmicas dispostas de maneira compacta, formando uma barreira contra a absorção de água (GAO et al., 2013).

A diminuição do PMS, PH e da produtividade corroboram com os resultados obtidos por Ji, Penning e Baik (2018), no qual o peso hectolitro e o peso dos grãos submetidos às condições de germinação na espiga obtiveram valores reduzidos quando comparados aos dos grãos produzidos sem a presença do problema. O peso hectolitro médio e o peso dos grãos da safra com a presença germinação na espiga, foram de 77,0 kg hl<sup>-1</sup> e 33,7 mg, respectivamente, enquanto os das safras sem a presença foram de 82,6 e 81,9 kg hl<sup>-1</sup> e 38,7 e 41,3 mg, respectivamente (JI; PENNING; BAIK, 2018).

Farrer et al. (2006), reportaram que o atraso na colheita de 8 a 19 dias causou reduções que variaram de 3,3 a 14,4% no peso hectolitro, sendo que essas reduções estavam altamente relacionadas à quantidade de precipitação após o ponto de colheita, sugerindo que os ciclos de umedecimento e secagem dos grãos são fatores importantes que contribuem para a diminuição

do PH. Os resultados estão de acordo com os obtidos no presente trabalho, visto que na EP1 houve uma redução de 10,32% a partir da segunda colheita, quando houve registro de precipitação. Já na EP2 a redução foi de aproximadamente 9,43% da primeira até a última colheita.

Outro fator que vale ser destacado, embora as épocas tenham sido estatisticamente analisadas separadamente, é a brusca redução da produtividade entre as épocas de semeadura. Essa redução demonstra o quanto as condições climáticas podem afetar os componentes de produção e a produtividade. De forma semelhante, Tapley et al. (2013) também relataram em seus estudos que o peso dos grãos diminuiu à medida que as datas de semeadura foram adiadas, sugerindo que o atraso na semeadura reduz o tempo disponível para o crescimento das plantas e resulta em grãos mais leves. Dessa forma, a cultivar e a data de semeadura devem ser selecionadas com base no local devido às interações da planta com o solo e fatores climáticos, visto que o ambiente (interação entre local e ano) e a data de semeadura impactam significativamente a produtividade do trigo.

Barbieri et al. (2013), encontraram valores entre 27 e 34 g de PMS para diferentes cultivares, valores maiores que os encontrados no presente trabalho conforme o atraso na colheita, no entanto, deve-se evidenciar que é um parâmetro altamente relacionado ao genótipo. Segundo Carvalho e Beleia (2015), o aumento da atividade enzimática estimulada durante a germinação pré-colheita, acelera o metabolismo e promove a perda de matéria seca nos grãos.

Em relação aos dados de germinação e vigor, na primeira época de semeadura (EP1), para as variáveis primeira contagem (PC) e germinação (G) foram constatados efeitos significativos estatisticamente para o fator atraso na colheita. Para a variável germinação, foi possível diferenciar as cultivares. Já para envelhecimento houve interação entre os fatores. A interação entre cultivar e colheita foi obtida para PC, G e ENV na segunda época de semeadura (Tabela 2).

**Tabela 2** - Resultados da análise de variância para as variáveis primeira contagem de germinação (PC), germinação (G) e envelhecimento (ENV) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita das sementes nas duas épocas de semeadura.

| Cultivares | Época de semeadura 1(EP1) |       |     | Época de semeadura 2 (EP2) |    |     |
|------------|---------------------------|-------|-----|----------------------------|----|-----|
|            | PC                        | G     | ENV | PC                         | G  | ENV |
| BRS        | 88                        | 94 a  | 89  | 85                         | 89 | 73  |
| GRA        | 85                        | 94 ab | 94  | 96                         | 97 | 94  |
| SAN        | 85                        | 92 b  | 94  | 94                         | 97 | 88  |

|                   |        |        |        |        |        |        |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CV (%)            | 5,773  | 2,895  | 3,11   | 4,832  | 3,53   | 6,266  |
| <i>p</i> cultivar | 0,094  | 0,017* | 0,001* | 0,001* | 0,001* | 0,001* |
| <i>p</i> atraso   | 0,001* | 0,001* | 0,001* | 0,001* | 0,001* | 0,001* |
| <i>p</i> F1×F2    | 0,056  | 0,307  | 0,001* | 0,001* | 0,004* | 0,001* |

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A primeira colheita da EP1 ocorreu no dia 14/08, e entre esta data e o dia 21/08 (segunda colheita) o qual corresponde à uma semana de atraso, não foram registradas precipitações pluviais. As colheitas seguintes ocorreram nos dias 28/08, 06/09 e 13/09 respectivamente. Nesse período, entre a terceira e a quarta colheita, houve uma precipitação pluvial acumulada de aproximadamente 24 mm (Figura 2). Essa precipitação foi suficiente para causar diminuição na qualidade fisiológica das sementes, como será observado a seguir.

A primeira contagem de germinação e a germinação total, apresentaram resultados similares (Figuras 5A e 5B). A colheita no momento apropriado (semana 0) refletiu no alto vigor das sementes, assim como em alta germinação, situando-se acima de 95%. Esse resultado se manteve até uma semana de atraso. A partir da segunda semana de atraso, a qual corresponde à terceira colheita, houve redução nos valores de ambas as variáveis, com comportamento similar. Além dos efeitos já esperados pela deterioração das sementes por estarem em condições não ideais de armazenagem (em campo na planta mãe), ainda houve a presença de chuva nesse período, que apesar de totalizar apenas 24 mm, pode ter acelerado esse processo de deterioração, devido a umidade nas espigas e conseqüente início da germinação ainda no campo.

No teste de envelhecimento acelerado (Figura 5C), foi possível detectar diferença para o vigor das sementes entre as cultivares, sendo que para a cultivar BRS 220 verificou-se redução mais acentuada a partir da segunda semana de atraso, o que pode ser devido à sua maior susceptibilidade à germinação pré-colheita. A redução do vigor para as demais cultivares foi mais evidente após a terceira semana conforme resultados deste teste.

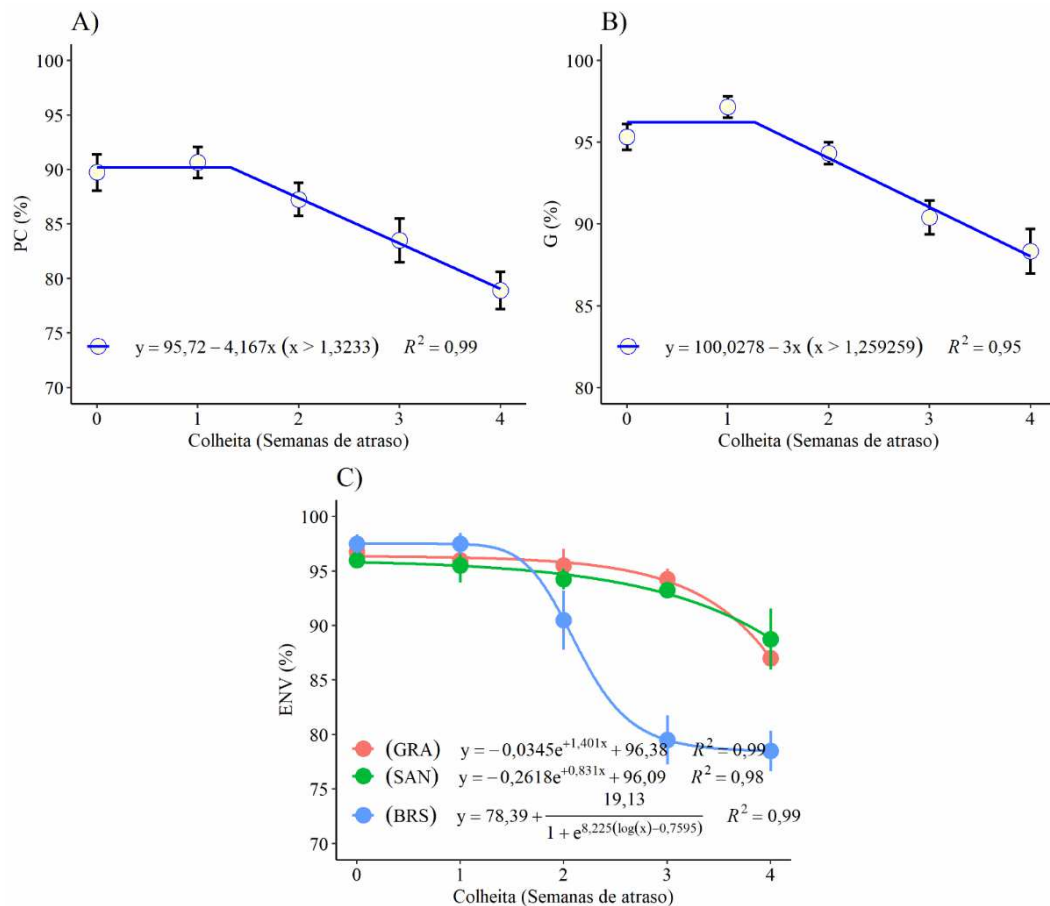
As duas primeiras colheitas não foram acometidas com a presença de precipitação pluvial, dessa forma, estavam no momento ideal para colheita, mesmo com uma semana de atraso, reafirmando que a colheita no estágio de maturidade está diretamente relacionada à maior qualidade das sementes, e que o momento da colheita influencia aspectos essenciais como germinação, vigor, viabilidade e o armazenamento posterior das sementes (KHATUN, KABIR; BHUIYAN, 2009).

Apesar da redução dos valores de germinação serem significativas a partir da terceira semana de atraso, as médias ainda se encontram dentro dos padrões para comercialização de

sementes de trigo, que devem possuir germinação igual ou superior à 80% (BRASIL, 2010).

A maior susceptibilidade à germinação pré-colheita da cultivar BRS 220 foi verificada em testes realizados por Bassoi et al. (2004) os quais demonstraram que, após a maturação fisiológica, ocorreu a rápida perda de dormência em decorrência da secagem dos grãos e, na presença de chuvas prolongadas na pré-colheita, apresentou elevado nível de germinação na espiga, sugerindo realizar a colheita da cultivar logo que a percentagem de umidade do grão permita, principalmente quando há previsão de chuvas em maior intensidade.

**Figura 5** – Regressão das médias de: A: primeira contagem de germinação (PC); B: germinação (G); e C: envelhecimento acelerado (ENV), de sementes de trigo para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na primeira época de semeadura (EP1).



**Fonte:** o próprio autor.

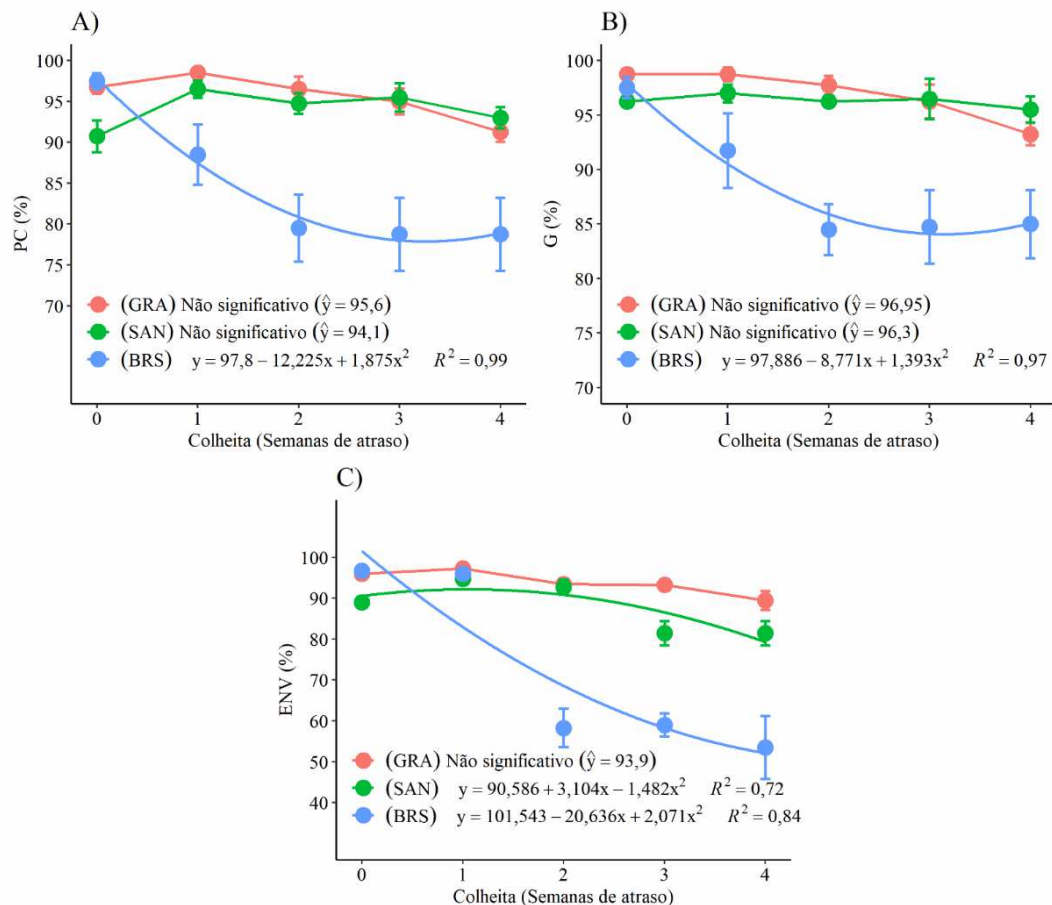
Na segunda época de semeadura (EP2) houve mais registros de precipitação pluvial entre as colheitas (Figura 2), totalizando em torno de 18 mm de precipitação entre a segunda e terceira colheita, e 4 mm entre a quarta e quinta colheita. A primeira e a segunda colheita não

foram prejudicadas pela chuva, no entanto, a terceira colheita e a quinta, as quais correspondem às duas e quatro semanas de atraso, podem ter sido influenciadas pela umidade decorrente da precipitação pluvial.

Nesse experimento, a cultivar BRS 220 foi a que demonstrou maiores impactos do atraso na colheita. Reduções significativas desde a primeira semana de atraso foram observadas nas variáveis PC, G e ENV (Figuras 6A, 6B e 6C). Para essas variáveis, as demais cultivares foram menos prejudicadas pelo atraso na colheita, característica benéfica em relação à qualidade de sementes.

Novamente, nota-se a presença da chuva a partir da segunda colheita, o que pode ter impactado nessa redução abrupta da qualidade fisiológica. As médias obtidas também possibilitaram diferir as cultivares, colocando a BRS 220 como a que mais sofreu os impactos do atraso na colheita.

**Figura 6** - Regressão das médias de A: primeira contagem de germinação (PC); B: germinação (GERM); e C: envelhecimento acelerado (ENV), para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Galha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na segunda época de semeadura (EP2).



Fonte: o próprio autor.

A redução na qualidade das sementes com o atraso na colheita ocorreu pois, logo após a maturidade fisiológica as sementes estão com a máxima qualidade, e após esse período já se inicia o processo natural de deterioração das sementes (BEWLEY et al., 2013). No caso desse trabalho, o armazenamento no campo, devido ao atraso na colheita, colocou as sementes diretamente expostas às intempéries climáticas, como temperatura e alta umidade relativa do ar, causada principalmente pela precipitação (BEWLEY et al., 2013; KAMESWARA RAO et al., 2017), que atrelada a altas temperaturas, acelerou esse processo (ZHANG et al., 2021).

Como as sementes tendem a equilibrar sua umidade com o nível de vapor d'água presente no ambiente que as envolve, a alteração na umidade relativa do ar (UR) afeta diretamente o teor de umidade das sementes, o que pode alterar sua qualidade (ZHANG et al., 2021). Ainda, quanto maior o teor de água presente no eixo embrionário da semente, conforme o envelhecimento, a taxa de deterioração se eleva mais rapidamente, o que pode explicar a perda da viabilidade das sementes, visto que para a conclusão da germinação é necessário o alongamento do embrião (KIBINZA et al., 2006).

Para os demais testes de vigor, não foi observada interação entre os fatores para ambas as épocas de semeadura (Tabela 3). Na EP1, a variável comprimento de parte aérea (CPA), diferenciou a cultivar BRS Gralha-azul com a maior média em relação às demais cultivares, já na EP2, a mesma variável não apresentou diferenças estatísticas entre cultivares (Tabela 3). O comprimento de parte aérea para ambas as semeaduras, foi menor para a cultivar BRS 220 em comparação com a BRS Gralha-azul.

Em ambas as épocas o comprimento de raiz (CR) e de plântula (CP) foi menor para BRS 220 em comparação a BRS Gralha-azul. Já na EP2, a BRS Gralha-azul se destacou com a maior média em relação a BRS Sanhaço.

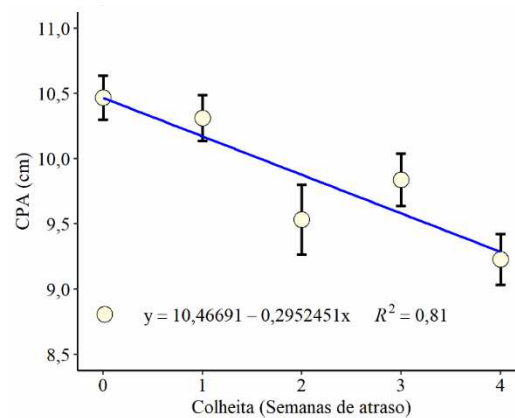
**Tabela 3** - Resultados da análise de variância para as variáveis comprimento de parte aérea de plântula (CPA), comprimento da raiz (CR), comprimento da plântula (CP) para as cultivares de trigo BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita em duas épocas de semeadura.

| Cultivares        | Época de semeadura 1 (EP1) |        |         | Época de semeadura 2 (EP2) |        |        |
|-------------------|----------------------------|--------|---------|----------------------------|--------|--------|
|                   | CPA                        | CR     | CP      | CPA                        | CR     | CP     |
| BRS               | 9,68 b                     | 17,3 b | 27,0 b  | 9,68                       | 18,9 b | 27,9 b |
| GRA               | 10,24 a                    | 18,5 a | 28,8 a  | 10,24                      | 21,2 a | 30,6 a |
| SAN               | 9,71 b                     | 18,4 a | 28,1 ab | 9,71                       | 19,5 b | 28,7 b |
| CV (%)            | 6,575                      | 6,918  | 5,958   | 7,762                      | 4,83   | 4,583  |
| <i>p</i> cultivar | 0,014*                     | 0,006* | 0,006*  | 0,133                      | 0,001* | 0,001* |
| <i>p</i> colheita | 0,001*                     | 0,158  | 0,386   | 0,872                      | 0,066  | 0,226  |
| <i>p</i> F1×F2    | 0,718                      | 0,052  | 0,148   | 0,465                      | 0,445  | 0,484  |

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O comprimento da parte aérea das plântulas obteve um ajuste linear (Figura 7), com diminuição das médias de maneira mais discrepante a partir da segunda semana de atraso. Isso pode ser explicado pois, o vigor e a deterioração são fenômenos relacionados, visto que ao aumentar a deterioração, diminui-se o vigor (ZHANG et al, 2015). Juntamente com a deterioração ocorre o consumo de reservas que atua negativamente no vigor das sementes. A massa dos órgãos das plântulas é altamente dependente da massa das sementes, portanto as reduções de massa que surgem desde a colheita até a emergência reduzem o crescimento das plântulas. Consequentemente, produzem-se plântulas menos vigorosas e com menor capacidade de estabelecimento em condições adversas ou restritivas (EBONE et al., 2019).

**Figura 7** - Regressão das médias de comprimento de parte aérea (CPA) para as cultivares de trigo BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na primeira época de semeadura (EP1).



**Fonte:** o próprio autor.

De maneira semelhante ao ocorrido nesse trabalho, se observou redução do comprimento de plântula com o atraso de colheita para a cultura da soja, a qual está associada ao fato da taxa de deterioração das sementes aumentar consideravelmente pela exposição às variações de temperatura média do ar e da precipitação pluviométrica, reduzindo o desempenho das plântulas (MATHIAS et al., 2017).

Em soja diversos autores relatam a redução da qualidade da semente quando submetidas ao atraso na colheita, com redução na germinação e no vigor (XAVIER et al., 2015; THANT et al., 2017; ALI et al., 2018). O comprimento de plântulas e sua massa seca

também são afetados pelo atraso na colheita, o que pode ser explicado pela falha na ativação das enzimas responsáveis pela mobilização das reservas que atuam na germinação da semente e crescimento da plântula (ALI et al., 2018; MOHAMMADI et al., 2012). Na cultura do milho também foi estudado o impacto do atraso na colheita, que pode acarretar perdas quantitativas e qualitativas, causadas por fatores fisiológicos e morfológicos (PANISON et al., 2016).

Conforme os dados obtidos no presente trabalho, pode-se constatar a interação significativa entre os fatores analisados, como o atraso na colheita e as diferentes cultivares de trigo. A interação entre a época de semeadura e as condições climáticas também desempenhou um papel crucial nos resultados observados, especialmente na produtividade, vigor e qualidade das sementes. Esses resultados confirmam as hipóteses de que o atraso na colheita, combinado com variáveis ambientais, impacta negativamente a qualidade das sementes e a produtividade.

Embora as épocas de semeadura não tenham sido diretamente comparadas no estudo, os resultados sugerem diferenças significativas nas respostas das cultivares em diferentes épocas, reforçando a importância de ajustar a época de semeadura às condições locais para otimizar a produção, assim como de escolher a cultivar baseada em possíveis intempéries enfrentadas no final do ciclo da cultura.

Os resultados do presente estudo podem ser aplicados no manejo da cultura para promover altas produtividades, especialmente na produção de sementes de alta qualidade. Práticas de manejo que evitem atrasos na colheita e considerem as características específicas das cultivares e as condições climáticas locais podem minimizar as perdas de produtividade e qualidade.

#### 4.4 CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que o atraso na colheita impacta negativamente a qualidade das sementes e a produtividade do trigo.

As cultivares de trigo respondem de maneira diferente ao atraso na colheita, e a presença de alta umidade durante esse período agrava a situação, resultando em uma diminuição progressiva da viabilidade e do vigor das sementes. Após duas semanas de atraso, as reduções são mais severas, e estão atreladas às condições climáticas enfrentadas.

## 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERT, D.; VIJAYARAGHAVAREDDY, P.; SREEMAN, S. Seed size, an imperative trait for seed vigor and drought tolerance in rice. **Cereal Research Communications**, v. 52, n. 2, p. 559-568, 2024.
- ALI, I. M.; NULIT, R.; IBRAHIM, M. H.; UDDIN, M. K. Effect of delay harvest on seed quality and germination of three varieties of soybean (*Glycine max*) seeds. **Plant Archives**, v. 18, n. 2, p. 1961-1966, 2018.
- AMBIKA, S.; MANONMANI, V.; SOMASUNDARAM, G. Review on effect of seed size on seedling vigour and seed yield. **Research Journal of Seed Science**, v. 7, n. 2, p. 31-38, 2014.
- BARBIERI, A. P. P.; MARTIN, T. N.; MERTZ, L. M.; NUNES, U. R.; CONCEIÇÃO, G. M. Redução populacional de trigo no rendimento e na qualidade fisiológica das sementes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 724-731, 2013.
- BASSOI, M. C. Aspectos gerais da germinação pré-colheita e seu controle genético. In: CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F. **Germinação pré-colheita em trigo**. Passo Fundo, 2004. p. 21-136.
- BASSOI, M. C.; RIEDE, C. R.; CAMPOS, L. A. C.; FOLONI, J. S. S.; NASCIMENTO JUNIOR, A.; GARBUGLIO, D. D.; ARRUDA, K. M. A. **Cultivares de trigo e triticale Embrapa e Iapar**. Londrina: Embrapa Soja. 2016.
- BENASEER, S.; MASILAMANI, P.; ALBERT, V. A.; GOVINDARAJ, M.; SELVARAJU, P.; BHASKARAN, M. Impact of harvesting and threshing methods on seed quality-A review. **Agricultural Reviews**, v. 39, n. 3, p. 183-192, 2018.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 408 p. 2013.
- BHATT, G. M.; PAULSEN, G. M.; KULP, K.; HEYNE, E. G. Preharvest sprouting in hard winter wheats: assessment of methods to detect genotypic and nitrogen effects and interactions. **Cereal Chem**, v. 58, n. 4, p. 300-302, 1981.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. **Regulamento técnico do trigo**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, seção 1, n. 29, p. 2, 1 dez. 2010.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. **Regras para análise de sementes**. 2009. 365 p.
- CARVALHO, P. T.; BELEIA, A. D. P. Alterações físico-químicas e atividade enzimática de trigo com germinação pré-colheita. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 524-531, 2015.
- CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F.; PASINATO, A. Introdução ao problema da germinação pré-colheita em trigo no Brasil. In: CUNHA, G.R.; PIRES, J.L.F. **Germinação pré-colheita em**

**trigo**. Passo Fundo, 2004. p. 11-20.

EBONE, L. A.; CAVERZAN, A.; CHAVARRIA, G. Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 145, p. 34-42, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Instituto Agrônômico do Paraná. **Mapa de solos do estado do Paraná**: legenda atualizada, 2008. p. 74.

FARRER, D.; WEISZ, R.; HEINIGER, R.; MURPHY, J. P.; PATE, M. H. Delayed harvest effect on soft red winter wheat in the southeastern USA. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 3, p. 588-595, 2006.

FRANCO, F. D. A.; PINTO, R. J. B.; SCAPIM, C. A.; SCHUSTER, I.; PREDEBON, C. T.; MARCHIORO, V. S. Tolerância à germinação na espiga em cultivares de trigo colhido na maturação fisiológica. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2396-2401, 2009.

GAO, X.; HU, C. H.; LI, H. Z.; YAO, Y. J.; MENG, M.; DONG, J.; ...; LI, X. Y. Factors affecting pre-harvest sprouting resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.): a review. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 23, n. 2, p. 556-565, 2013.

GULINO, D.; SAYERAS, R.; SERRA, J.; BETBESE, J.; DOLTRA, J.; GRACIA-ROMERO, A.; LOPES, M. S. Impact of rising temperatures on historical wheat yield, phenology, and grain size in Catalonia. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1245362, 2023.

JI, T.; PENNING, B.; BAIK, B. Pre-harvest sprouting resistance of soft winter wheat varieties and associated grain characteristics. **Journal of Cereal Science**, v. 83, p. 110-115, 2018.

JYOTI, J.; MALIK, C. P. Seed deterioration: a review. **International journal of life sciences biotechnology and pharma research**, v. 2, n. 3, p. 374-385, 2013.

KHAN, F. A.; BHAT, S. A.; NARAYAN, S.; MAQBOOL, R.; MURTUZA, I.; KHAN, F. U. Seed deterioration and priming-An Overview. **SKUAST Journal of Research**, v. 19, n. 1, p. 12-21, 2017.

KHATUN, A.; KABIR, G.; BHUIYAN, M. A. H. Effect of harvesting stages on the seed quality of lentil (*Lens culinaris* L.) during storage. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, v. 34, n. 4, p. 565-576, 2009.

KIBINZA, S.; VINEL, D.; CÔME, D.; BAILLY, C.; CORBINEAU, F. Sunflower seed deterioration as related to moisture content during ageing, energy metabolism and active oxygen species scavenging. **Physiologia Plantarum**, v. 128, n. 3, p. 496-506, 2006.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020.

LANG, J.; FU, Y.; ZHOU, Y.; CHENG, M.; DENG, M.; LI, M.; ...; WANG, J. Myb10 D confers PHS 3D resistance to pre harvest sprouting by regulating NCED in ABA biosynthesis pathway of wheat. **New Phytologist**, v. 230, n. 5, p. 1940-1952, 2021.

MATHIAS, V.; PEREIRA, T.; MANTOVANI, A.; ZÍLIO, M.; MIOTTO, P.; COELHO, C.

M. M. Implicações da época de colheita sobre a qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Agro@mbiente on-line**, v. 11, n. 3, p. 223-231, 2017

MOHAMMADI, H., A. SOLTANI, H. R. SADEGHIPOUR AND E. ZEINALI. Effects of seed aging on subsequent seed reserve utilization and seedling growth in soybean. **International Journal of Plant Production**, v. 5 n. 1, p. 65-70, 2012.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019. 210 p.

PANISON, F.; SANGOI, L.; KOLLING, D. F.; COELHO, C. M. M.; DURLI, M. M. Épocas de colheita e desempenho agrônômico de híbridos de milho com ciclos de crescimento contrastantes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, p. 219-226, 2016.

PENNING, B. W. Gene expression differences related to pre-harvest sprouting uncovered in related wheat varieties by RNAseq analysis. **Plant Gene**, v. 33, p. 100404, 2023.

RAHBARI, K.; MADANDOUST, M. The Effect of Seed Moisture Content of Hybrid Maize at Harvest Time on Seed Germination Traits and Antioxidant Enzymes Activity under Simulated Environmental Stresses with Silicon Foliar Application. **Silicon**, p. 1-11, 2024.

RAMOS, A. R.; BASSEGIO, D.; NAKAGAWA, J.; ZANOTTO, M. D. Harvest times and seed germination of three safflower genotypes. **Ciência Rural**, v. 51, n. 5, p. 1-7, 2021.

KAMESWARA RAO, N.; DULLOO, M. E.; ENGELS, Johannes MM. A review of factors that influence the production of quality seed for long-term conservation in genebanks. **Genetic resources and crop evolution**, v. 64, p. 1061-1074, 2017.

RODRÍGUEZ, M. V.; BARRERO, J. M.; CORBINEAU, F.; GUBLER, F.; BENECH-ARNOLD, R. L. Dormancy in cereals (not too much, not so little): about the mechanisms behind this trait. **Seed Science Research**, v. 25, n. 2, p. 99-119, 2015.

SATO, K.; YAMANE, M.; YAMAJI, N.; KANAMORI, H.; TAGIRI, A.; SCHWERDT, J. G.; ... ; KOMATSUDA, T. Alanine aminotransferase controls seed dormancy in barley. **Nature communications**, v. 7, n. 1, p. 11625, 2016.

SHIMIZU, G. D.; GONÇALVES, L. S. A. AgroReg: Main regression models in agricultural sciences implemented as an R Package. **Scientia Agricola**, v. 80, p. e20220041, 2023.

SHIMIZU, G. D.; MARUBAYASHI, R. Y. P.; GONÇALVES, L. S. A. **AgroR: Experimental Statistics and Graphics for Agricultural Sciences**. R package version 1.3.6. 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/AgroR/index.html>

SIBALDELLI, R. N. R.; FARIAS, J. R. B. **Boletim agrometeorológico da Embrapa Soja, Londrina, PR – 2018**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 26 p.

TAI, L.; WANG, H. J.; XU, X. J.; SUN, W. H.; JU, L.; LIU, W. T.; ... CHEN, K. M. Pre-harvest sprouting in cereals: genetic and biochemical mechanisms. **Journal of Experimental Botany**, v. 72, n. 8, p. 2857-2876, 2021.

TAPLEY, M.; ORTIZ, B. V.; VAN SANTEN, E.; BALKCOM, K. S.; MASK, P.; WEAVER, D. B. Location, seeding date, and variety interactions on winter wheat yield in southeastern

United States. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 2, p. 509-518, 2013.

TEAM, R. Core. RA language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical. **Computing**, 2020.

THANT, P. S., A. B. PUTEH, U. R. SINNIH AND M. F. ISMAIL. Physiological and chromosomal changes of delayed harvest soybean (*Glycine max* L. Merr.) seeds. **Seed Science and Technology**, v. 45, n. 2, p. 340-353., 2017.

XAVIER, T. S. DARONCH, D.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S.; DE CARVALHO, E. V.; DOS SANTOS, W. F. Época de colheita na qualidade de sementes de genótipos de soja. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 2, p. 241-245, 2015.

YAN, S. N.; YU, Z. Y.; WEI, G. A. O.; WANG, X. Y.; CAO, J. J.; JIE, L. U.; ... ZHANG, H. P. Dissecting the genetic basis of grain color and pre-harvest sprouting resistance in common wheat by association analysis. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 22, n. 9, p. 2617-2631, 2023.

ZHANG, H.; TANG, Y.; CHANDIO, A. A.; SARGANI, G. R.; ANKRAH TWUMASI, M. Measuring the effects of climate change on wheat production: evidence from Northern China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 19, p. 12341, 2022.

ZHANG, H.; WANG, W. Q.; LIU, S. J.; MØLLER, I. M.; SONG, S. Q. Proteome analysis of poplar seed vigor. **PloS one**, v. 10, n. 7, p. e0132509, 2015.

ZHANG, K.; ZHANG, Y.; SUN, J.; MENG, J.; TAO, J. Deterioration of orthodox seeds during ageing: Influencing factors, physiological alterations and the role of reactive oxygen species. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, p. 475-485, 2021.

## **5 ARTIGO B: Respostas bioquímicas e potencial fisiológico de sementes de diferentes cultivares de trigo submetidas ao atraso na colheita em diferentes épocas de semeadura**

### **Resumo**

O atraso na colheita do trigo pode afetar a qualidade das sementes produzidas por estarem armazenadas em campo, sujeitas às condições do ambiente, além da probabilidade de ocorrência da germinação na espiga, evento que pode variar conforme o material genético. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de duas épocas de semeadura e cinco períodos de atraso na colheita na qualidade fisiológica das sementes e nas respostas bioquímicas das plântulas de diferentes cultivares de trigo. As cultivares BRS 220, BRS Gralha Azul e BRS Sanhaço, foram semeadas em duas épocas de semeadura, com colheita em cinco períodos diferentes, correspondendo a 0, 7, 14, 21 e 28 dias após a maturação de colheita. Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, em parcelas subdivididas com os cultivares nas parcelas e o período de colheita nas subparcelas. A colheita e a trilha foram realizadas manualmente. Após armazenadas pelo período de um ano realizou-se a avaliação da qualidade fisiológica das sementes pelos testes de primeira contagem de germinação, germinação, envelhecimento acelerado, comprimento da parte aérea e de raiz de plântulas. Para determinação da resposta bioquímica das plântulas normais realizaram-se as análises enzimáticas da superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT), além da quantificação do teor total de proteínas. Os dados foram analisados quanto à normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (teste de Hartley). Em seguida, foi realizada a análise de variância com o teste F ( $p \leq 0,05$ ). Quando os tratamentos apresentaram efeito significativo, as médias dos cultivares foram comparadas pelo teste de Tukey, enquanto os períodos de colheita foram submetidos à análise de regressão. Realizou-se também a análise de componentes principais. Cada época de semeadura foi avaliada de maneira independente. As cultivares responderam de maneira distinta ao atraso na colheita. A BRS 220 foi a mais suscetível à deterioração, com reduções significativas na germinação e envelhecimento acelerado, enquanto BRS Sanhaço mostrou maior resistência. O atraso também afetou negativamente o comprimento das plântulas, comprometendo o vigor. O sistema de defesa contra o estresse oxidativo causado pelo atraso na colheita é o aumento da atividade das enzimas CAT e da SOD.

**Palavras-chave:** Estresse abiótico. Deterioração. Germinação pré-colheita. Maturação

fisiológica. Potencial fisiológico. Espécies reativas de oxigênio. *Triticum aestivum*.

### **Abstract**

A delayed wheat harvest can affect seed quality, as seeds remain in the field and are exposed to environmental conditions, increasing the likelihood of pre-harvest sprouting, though this risk varies by genetic material. The objective of this study was to evaluate the effect of two sowing dates and five delayed harvest periods on the physiological quality of seeds and the biochemical responses of seedlings from different wheat cultivars. The cultivars BRS 220, BRS Gralha Azul, and BRS Sanhaço were sown on two different dates, with harvesting occurring in five periods: 0, 7, 14, 21, and 28 days after harvest maturity. The experiments were conducted in a randomized block design with four replications, in split plots with cultivars as the main plots and harvest periods as the subplots. Harvesting and threshing were done manually. After one year of storage, the physiological quality of the seeds was assessed through the first germination count, germination rate, accelerated aging, shoot length, and root length of seedlings. To assess the biochemical response of normal plants, enzymatic analyses of superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX), and catalase (CAT) were performed, along with quantification of total protein content. Data were analyzed for normality (Shapiro-Wilk test) and homoscedasticity (Hartley test). Subsequently, an analysis of variance was performed using the F test ( $p \leq 0.05$ ). When treatments showed significant effects, cultivar means were compared using the Tukey test, and harvest periods were analyzed using regression analysis. Principal component analysis was also conducted. Each season was evaluated independently. The cultivars responded differently to the harvest delay. BRS 220 was the most susceptible, showing significant reductions in germination and accelerated aging, whereas BRS Sanhaço demonstrated greater resistance. The delay also affected seedling dimensions, reducing vigor. The defense mechanism against oxidative stress due to harvest delay involved increased activity of CAT and SOD enzymes.

**Key words:** Abiotic stress. Deterioration. Pre-harvest sprouting. Physiological maturation. Physiological potential. Enzymatic activity. *Triticum aestivum*.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Diante do cenário atual, em que há uma demanda crescente por alimentos, atrelada à necessidade de produzir mais sem ampliação de áreas, tem-se intensificado a agricultura. O uso intensivo do solo, utilização de cultivares precoces e antecipação da sementeira e colheita,

associados à ocorrência de eventos meteorológicos adversos podem acarretar problemas de perda de produção e qualidade de grãos e, a expectativa é que esses problemas se tornem mais frequentes com o decorrer dos anos (TSUKAHARA et al., 2016).

No cultivo do trigo, em condições tropicais e subtropicais, a época de semeadura resulta que o ciclo seja finalizado no início do retorno das chuvas. Quando ocorre o atraso na colheita sob condições de alta umidade, estimula-se um envelhecimento das sementes no campo, afetando diretamente sua qualidade, visto que durante o período de atraso, a semente pode estar exposta não somente à alta umidade, mas também à alta temperatura e variações de precipitação (ALI et al., 2018).

Essas condições adversas reduzem o potencial de germinação, aumentando a taxa de deterioração das sementes (JYOTI; MALIK, 2013), diminuindo sua capacidade de sobreviver, com impacto progressivo em seu desempenho (KHAN et al., 2017), pois a deterioração é um evento cumulativo, irreversível, degenerativo e inexorável (KAPOOR et al., 2011).

A deterioração de sementes está associada às alterações de nível celular, metabólico e químico, entre outros. Concomitantemente, pode ocorrer o acúmulo das espécies reativas ao oxigênio (EROs), as quais estão envolvidas em diversos aspectos da fisiologia das sementes, estando presentes na dessecação, germinação e envelhecimento, e podem levar ao estresse oxidativo e a danos celulares, o que intensifica sua deterioração (BAILLY, 2004).

As plantas respondem ao acúmulo de EROs por meio de mecanismos bioquímicos e fisiológicos, ativando seu sistema de defesa para proteger o organismo contra o estresse oxidativo. Esse sistema atua eliminando as EROs e pode ser classificado em dois tipos principais: defesas enzimáticas e não enzimáticas. Entre as defesas não enzimáticas, destacam-se proteínas e aminoácidos, que, se caracterizam em um sistema antioxidante altamente eficiente. Nas defesas enzimáticas verifica-se aumento na atividade de enzimas como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), glutatona peroxidase (GPH-Px), glutatona redutase (GPHR), dentre outras, além de metabólitos não enzimáticos, que, de forma conjunta, atuam na eliminação das EROs e na redução do dano oxidativo (FERREIRA et al., 2007; BARBOSA et al., 2014).

Destaca-se que naturalmente as EROs estão presentes no processo de germinação de sementes. No início da germinação, desencadeada pela embebição da semente, ocorre o aumento rápido na captação de oxigênio e na fosforilação oxidativa (TOMMASI et al., 2001). Em detrimento deste processo, a mobilização das reservas gera as EROs (PRODANOVIC et al., 2007), as quais se não forem eliminadas podem acarretar danos peroxidativos, decorrentes principalmente, da deterioração oxidativa de ácidos graxos insaturados das membranas, pela

ação das EROs presentes no interior das células (FLORES et al., 2014). Enzimas removedoras de EROs então são fundamentais para conclusão da germinação (BAILLY, 2004).

Cakmak et al. (1993) relataram a capacidade das sementes de trigo em aumentar as atividades das enzimas para a chamada desintoxicação de  $H_2O_2$ , durante a embebição e germinação das sementes, com aumento da atividade das peroxidases durante a emergência das radículas. Os autores ainda afirmaram que a atividade aprimorada das peroxidases nas sementes em germinação pode ser considerada um reflexo das melhorias no crescimento e desenvolvimento do embrião e das plântulas.

A redução da qualidade fisiológica das sementes quando as plantas foram submetidas ao atraso na colheita foi amplamente estudada em soja (DINIZ et al., 2013; XAVIER et al., 2015; THANT et al., 2017; ALI et al., 2018), e em milho (PANISON et al., 2016), para o qual se verificou que o impacto do atraso na colheita, que pode acarretar perdas quantitativas e qualitativas, causadas por fatores fisiológicos e morfológicos.

Já em sementes de trigo o efeito do atraso da colheita ainda não foi amplamente estudado, sendo necessário elucidar as respostas fisiológicas e bioquímicas das sementes frente à essa condição. Visto que o vigor das sementes está diretamente ligado ao ambiente de maturação, variações na umidade e temperatura podem afetar negativamente esse atributo devido a intensificação da respiração com consequente consumo das reservas (VERGARA et al., 2019).

Contudo, ainda são limitados os estudos que investigam a relação entre o estresse causado pelo atraso na colheita e seu impacto na germinação das sementes. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo quantificar o efeito do atraso na colheita em genótipos de trigo cultivado em diferentes épocas, em relação à qualidade fisiológica de sementes e sua atividade enzimática.

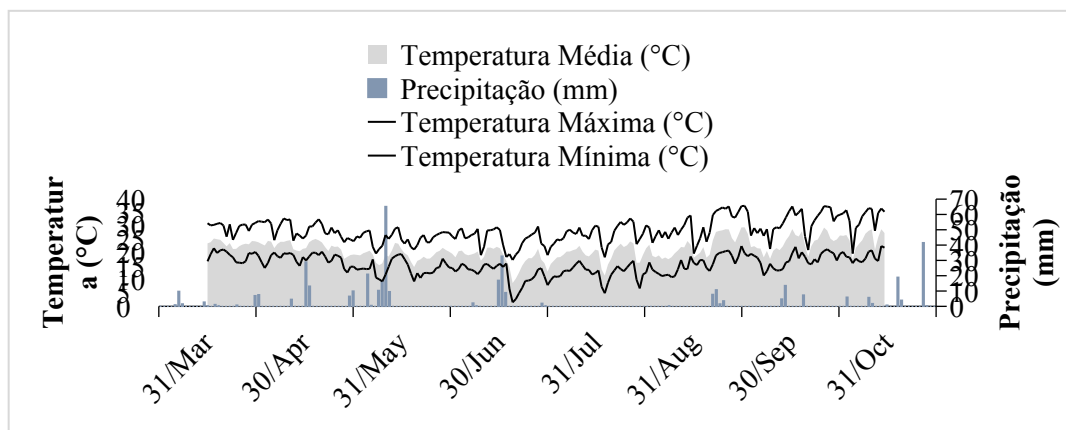
## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos a campo foram conduzidos em área experimental da Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, em Londrina-PR, localizada a 23° 23' de latitude Sul, 51° 11' de longitude Oeste e 566 metros de altitude. Segundo a classificação de Köeppen, o clima da região é classificado como Cfa, clima subtropical com temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (NITSCHKE et al., 2019; SIBALDELLI;

FARIAS, 2019). Quanto ao solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2018).

A área experimental, manejada em sistema de plantio direto, apresentava como cultura anterior o milho. O solo da área experimental foi coletado previamente para caracterização dos atributos químicos na camada de 0-20 cm que apresentou: pH (CaCl<sub>2</sub>) 5,4; C - 7,7 g kg<sup>-1</sup>; P (Mehlich 1) - 17,9 mg dm<sup>-3</sup>; H+Al - 4,3 cmolc dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> - 0,4 cmolc dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>+2</sup> - 5,6 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>+2</sup> - 1,3 cmolc dm<sup>-3</sup>; MO - 14,6 g kg<sup>-1</sup> e V - 63,1%. Os dados de temperatura (°C) e precipitação pluviométrica diária (mm) durante o período de desenvolvimento da cultura foram coletados pela estação meteorológica, instalada na área experimental, localizada aproximadamente a 1 km do experimento e estão apresentados na Figura 8.

**Figura 8** - Dados de precipitação pluvial (mm/dia) e temperaturas mínima, máxima e média diária ( °C), durante o período de condução dos experimentos em Londrina-PR, 2019.



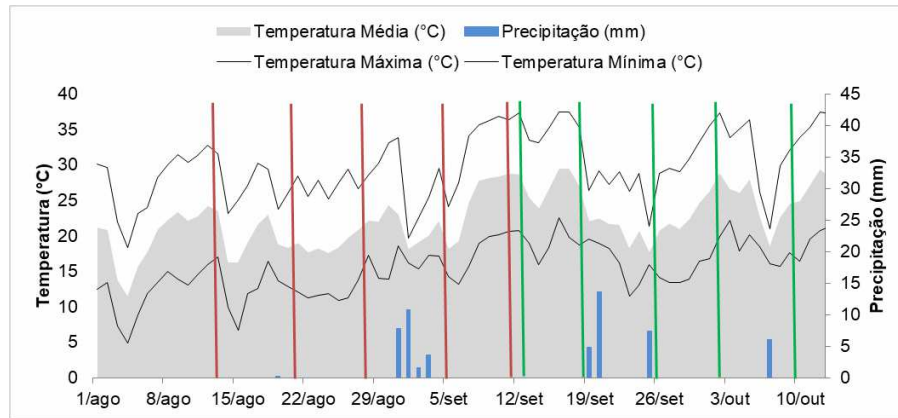
Fonte: o próprio autor.

Os experimentos foram semeados em duas épocas distintas, 16/04 e 16/05 de 2019 e conduzidos em delineamento experimental em blocos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições, em parcelas de 2,5 x 2,5 m com área útil de 2,5 m<sup>2</sup>. Nas parcelas foram alocados os genótipos e nas subparcelas os períodos de atraso na colheita em relação ao tempo de colheita ideal, para cada uma das épocas de cultivo. Dessa forma foram constituídos dois experimentos, em fatorial duplo considerando três cultivares (BRS220, BRS Sanhaço e BRS Galha Azul) e cinco períodos de atraso na colheita (0, 7, 14, 21, 28 dias após a maturação de colheita).

Para facilitar a visualização e discussão dos resultados, foi realizado uma aproximação

da Figura 1 com as médias dos dados de precipitação ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), temperaturas mínima, máxima e média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ), durante o período de colheita do experimento na safra 2019. Para a primeira época de semeadura, as colheitas estão representadas em vermelho; para a segunda época de semeadura, colheitas representadas na cor verde (Figura 9).

**Figura 9** - Dados de precipitação ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) e temperaturas mínima, máxima e média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ), durante o período de colheita dos experimentos em Londrina-PR, 2019.



Fonte: o próprio autor.

Ambas as semeaduras foram realizadas com densidade de 330 sementes por  $\text{m}^2$ , em espaçamento entre linhas de 0,17 m, e adubação no sulco com  $250 \text{ kg ha}^{-1}$  de NPK na formulação 10-15-15. Na fase de início do perfilhamento foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura com aplicação de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de ureia (45% de N). As cultivares utilizadas no experimento foram selecionadas a partir dos resultados de ensaios para os Cultivares de Trigo e Triticale desenvolvidos pela EMBRAPA e IAPAR (BASSOI et al., 2016), de acordo com a sua suscetibilidade à germinação pré-colheita, BRS 220 (susceptível), BRS Sanhaço (moderadamente susceptível) e BRS Gralha Azul (boa resistência).

Para avaliação do efeito da época de semeadura e do atraso na colheita, as espigas foram coletadas manualmente, trilhadas, e as sementes armazenadas em câmara fria. Após o período de um ano, as sementes foram submetidas a avaliação da qualidade física e fisiológica, e mediram-se a atividade enzimática e teor de proteína total das plântulas normais obtidas no teste de germinação.

As análises realizadas estão descritas a seguir:

Teor de água: determinado utilizando-se 25 sementes para cada repetição, em estufa regulada a  $105 \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , durante 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), com os resultados expressos em porcentagem.

Germinação: Conduzido com oito repetições de 50 sementes, em papel para germinação umedecido com água na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato. Os rolos foram mantidos em germinador a 20 °C e as contagens realizadas aos sete dias após a implantação do teste, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais segundo critérios estabelecidos em Brasil (2009).

Primeira Contagem de Germinação: Realizada juntamente ao teste de germinação, contabilizando as plântulas normais obtidas aos quatro dias após a instalação do teste, com resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Comprimento de plântulas: 20 sementes de cada tratamento foram distribuídas em papel para germinação umedecido com água na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato, em quatro repetições, e mantidas em germinador a 20 °C por sete dias (KRZYZANOWSKI, VIEIRA; FRANÇA NETO, 2020). Sobre o papel umedecido foram traçadas duas linhas no terço superior, no sentido longitudinal, onde as sementes foram dispostas de forma que o embrião permaneça voltado para a parte inferior do papel. Após sete dias da instalação do teste foi determinado o comprimento das plântulas normais (raiz primária e parte aérea), utilizando-se régua milimétrica, com resultados expressos em cm por plântula.

Envelhecimento acelerado: Conduzido conforme metodologia sugerida pela AOSA (Association of Official Seed Analysts) (2002), distribuindo as sementes em uma única camada sobre telas de inox, encaixadas em gerbox contendo 40 mL de água e mantidas à temperatura de 41 °C por 72 horas. Após o envelhecimento foram montados os testes conforme metodologia do teste de germinação citada anteriormente, com quatro repetições de 50 sementes de cada tratamento. A avaliação foi realizada ao quarto dia após instalação do teste e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Para a realização das análises bioquímicas as sementes de trigo foram primeiramente submetidas ao teste de germinação conforme metodologia descrita anteriormente. Posteriormente foram coletadas as plântulas normais, e essas foram divididas em parte aérea e raiz, acondicionadas em sacos plásticos e congeladas em nitrogênio líquido, e então armazenadas em ultrafreezer a -80 °C até o momento das análises.

As análises enzimáticas e o teor de proteína total foram determinados de maneira separada para parte aérea e raiz, utilizando-se o extrato enzimático bruto das partes das plântulas, obtido pesando-se aproximadamente 1 g do material vegetal, que foi macerado em nitrogênio líquido, e posteriormente adicionando-se 10 mL do tampão de extração gelado (tampão fosfato de potássio de potássio 50mM (pH 7,0) e 1% (p/v) de polivinilpirrolidona), em cadinho previamente resfriados. Após este processo, foram

transferidos para tubos de 15 mL e centrifugados durante 10 minutos a  $785,4 \text{ rad seg}^{-1}$  a  $4^\circ\text{C}$ . O sobrenadante foi transferido para microtubos do tipo “ependorfs” de 2 mL e mantidos em freezer a  $-14^\circ\text{C}$  até o momento das análises.

A quantificação de proteínas totais foi realizada pelo método Bradford (1976), o qual é baseado na mudança da coloração do reagente Coomassie Brilliant Blue G-250 quando ligado à proteína. Dessa forma, foi realizada a curva de calibração do reagente, utilizando albumina de soro bovino (BSA  $0 - 15 \mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$ ) como padrão. Foram utilizadas alíquotas de  $60 \mu\text{L}$  (parte aérea) e  $120 \mu\text{L}$  (radícula) dos extratos, transferidos para tubos de ensaio, adicionados  $540$  e  $480 \mu\text{L}$  de água destilada, respectivamente, e  $2,4 \text{ mL}$  do reagente de Bradford (BRADFORD, 1976). Após agitação realizou-se leitura da reação a  $595 \text{ nm}$  em espectrofotômetro modelo Evolution 300 UV-VIS. A concentração de proteínas totais foi calculada pela comparação das leituras dos materiais com as obtidas na curva padrão, e expressa em  $\text{mg}$  de proteína  $\text{g}^{-1}$  MF (matéria fresca).

A atividade da catalase (CAT) foi determinada através do consumo de  $\text{H}_2\text{O}_2$  monitorado por espectrofotometria a  $240 \text{ nm}$ , considerando o coeficiente de extinção molar do  $\text{H}_2\text{O}_2$  de  $36,0 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$  (PEIXOTO et al., 1999). Para a reação foram utilizados o extrato enzimático e tampão fosfato de potássio monobásico  $50 \text{ mM}$  ( $\text{pH } 7,0 + 0,1 \text{ mM EDTA}$ ), contendo  $15 \text{ mM}$  de peróxido de oxigênio ( $0,5 \text{ M}$ ), realizando-se duas leituras a  $240 \text{ nm}$  no modo Kinect com 8 ciclos de 30 segundos. Atividade da enzima foi expressa em  $\text{mmol } \text{H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$

A atividade da ascorbato peroxidase (APX) foi determinada seguindo metodologia descrita por Peixoto et al. (1999), com algumas modificações. A solução de reação consiste em tampão fosfato de potássio  $50 \text{ mM}$  ( $\text{pH } 7$ ),  $\text{H}_2\text{O}_2$   $1 \text{ mM}$ , ascorbato  $0,5 \text{ mM}$  e extrato enzimático. O ensaio inicia-se com a adição do extrato enzimático diluído, em cubeta de quartzo de  $3 \text{ mL}$  adicionando-se tampão fosfato de potássio  $50 \text{ mM}$ , contendo ácido L-ascórbico  $0,5 \text{ mM}$ , e depois solução de  $\text{H}_2\text{O}_2$   $1,0 \text{ mM}$  ao meio de reação, observando o decréscimo da leitura no intervalo de 15 segundos, por 2 minutos à absorvância de  $290 \text{ nm}$ . A atividade da enzima foi calculada usando coeficiente de extinção molar de  $2,8 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ , e os valores expressos em  $\text{UA min}^{-1} \text{ g MF}^{-1}$  (unidades de atividade – UA; Matéria fresca-MF), sendo uma unidade de atividade representada pela quantidade de enzima que catalisa a oxidação de um micromol de ascorbato.

A atividade da superóxido dismutase (SOD) foi mensurada através da habilidade da enzima em inibir a redução fotoquímica do NBT (Nitroblue tetrazolium), que leva à formação de um precipitado de cor azul denominado formazana. Em tubos de ensaio cobertos com

papel alumínio foram adicionados 2,8ml da solução de reação (tampão fosfato de sódio 50 mM (pH 7,8); EDTA 0,1 mM e metionina 13 mM; NBT 75  $\mu$ M e riboflavina 2  $\mu$ M), e 200  $\mu$ L do extrato enzimático ou tampão de extração (para os brancos) (DEL LONGO et al., 1993). Os tubos foram descobertos (exceto o branco do escuro) e transferidos a uma câmara com iluminação de lâmpadas fluorescentes de 15W a 25°C. Após 5 min de iluminação, a reação é finalizada ao apagar as lâmpadas e as amostras lidas em espectrofotômetro a 560 nm (GIANNOPOLITIS; RIES, 1977). A atividade da enzima foi calculada considerando-se que uma unidade de SOD ( $U_{SOD}$ ) é a quantidade de enzima necessária para inibir metade (50%) da fotorredução do NBT, os valores expressos em  $U_{SOD}.mg$  proteína<sup>-1</sup>.

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativo a 5% foi realizada a análise de regressão. As pressuposições de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias foram testadas por Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente a 5% de significância. Foi realizada a análise dos componentes principais com o objetivo de reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados, identificar padrões e simplificar a interpretação dos dados, destacando as variáveis que mais contribuem para a variância. Cada época de semeadura foi avaliada de maneira independente. Para as análises, foi utilizado o Software estatístico R (R CORE TEAM, 2018) e os pacotes AgroR (SHIMIZU; MARUBAYASHI; GONÇALVES, 2024) e AgroReg (SHIMIZU; GONÇALVES, 2023).

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira época de semeadura (EP1), através da análise de variância, constatou-se a interação entre as cultivares e o período de colheita para as variáveis primeira contagem de germinação (PC), germinação (GERM) e envelhecimento acelerado (ENV). Para os testes de vigor relacionados ao comprimento de parte aérea (CPA) e de raiz (CR), ambos foram significativos para os fatores de maneira isolada (Tabela 4).

Em relação ao atraso na colheita (Figuras 10 A, B e C) verificou-se diferença significativa entre as cultivares para qualidade de sementes. Na primeira contagem de germinação (PC), obteve-se uma diminuição progressiva com o atraso na colheita para todas as cultivares analisadas. A cultivar GRA apresentou uma redução média de 11% por semana de atraso, enquanto SAN teve uma queda menor de 8%, indicando maior tolerância ao atraso. Já a cultivar BRS foi a mais afetada, com uma diminuição de 14,5% por semana de atraso (Figura 10 A).

**Tabela 4** - Resultados da análise de variância para as variáveis primeira contagem de germinação (PC), germinação (GERM) e envelhecimento (ENV), comprimento de plântulas parte aérea (CPA) e raiz (CR) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na primeira época de semeadura (EP1).

|                   | PC      | GERM    | ENV     | CPA     | CR      |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| BRS               | 62,5    | 69,90   | 50,98   | 7,16 a  | 11,80 b |
| GRA               | 54,5    | 71,43   | 57,20   | 6,20 b  | 13,50 a |
| SAN               | 62,5    | 80,40   | 64,85   | 6,96 a  | 13,70 a |
| CV (%)            | 11,667  | 9,899   | 8,28    | 10,881  | 7,279   |
| <i>p</i> cultivar | p<0,001 | p<0,001 | p<0,001 | p<0,001 | p<0,001 |
| <i>p</i> colheita | p<0,001 | p<0,001 | p<0,001 | 0,011   | p<0,001 |
| <i>p</i> F1×F2    | p<0,001 | p<0,001 | p<0,001 | 0,771   | 0,731   |

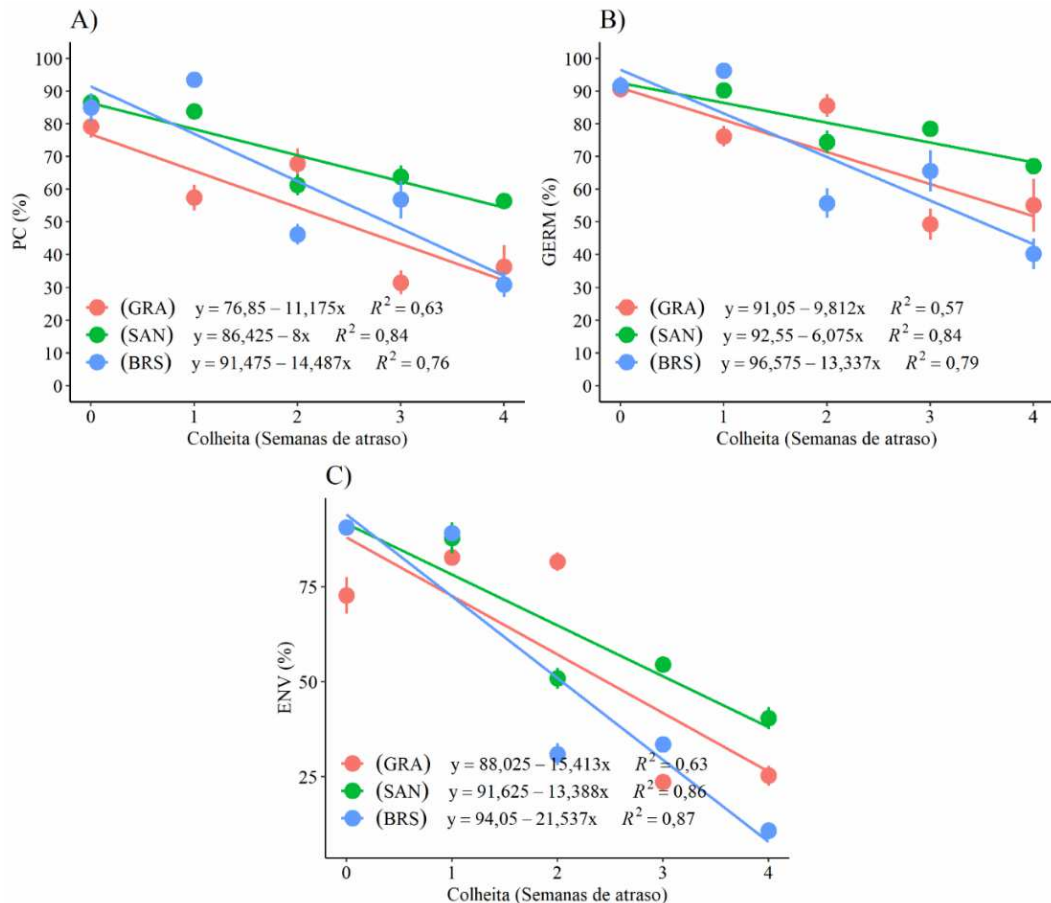
\* Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A germinação também foi negativamente influenciada pelo atraso, com todas as cultivares apresentando uma diminuição significativa. A cultivar GRA teve uma redução de 9% por semana de atraso, SAN uma queda de 6 %, e BRS novamente foi a mais sensível, com uma redução de 13% (Figura 10 B). Esses dados indicam que o atraso na colheita não só afeta a germinação inicial, mas também a capacidade geral das sementes de germinar, com maior impacto nas cultivares mais suscetíveis a germinação na espiga.

De maneira geral, a cultivar Sanhaço apresentou médias superiores às demais, enquanto BRS 220, as menores médias. Quando submetidas ao teste de envelhecimento acelerado, a cultivar BRS teve a maior redução, com uma perda de 22% por semana de atraso, seguido por SAN com 13,4% e GRA com 15,4%. Através desse teste, houve redução brusca das médias, demonstrando o quanto as sementes estavam sensíveis à deterioração (Figura 10 C).

Os resultados obtidos para a cultivar BRS 220 podem ser explicados devido sua maior susceptibilidade à germinação na espiga, como observado por Bassoi et al. (2004). Visto que houve presença de chuva após a segunda época de colheita, essa alta umidade pode ter sido suficiente para iniciar o processo de germinação, além dos efeitos já esperados pela deterioração das sementes por estarem em condições não ideais de armazenagem. Dessa forma, é recomendado realizar a colheita da cultivar assim que a umidade dos grãos permita, especialmente quando há previsão de chuvas intensas (BASSOI et al., 2004).

**Figura 10** - Primeira contagem de germinação (PC), germinação (GERM) e envelhecimento (ENV) para as cultivares de trigo BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na primeira época de semeadura (EP1).



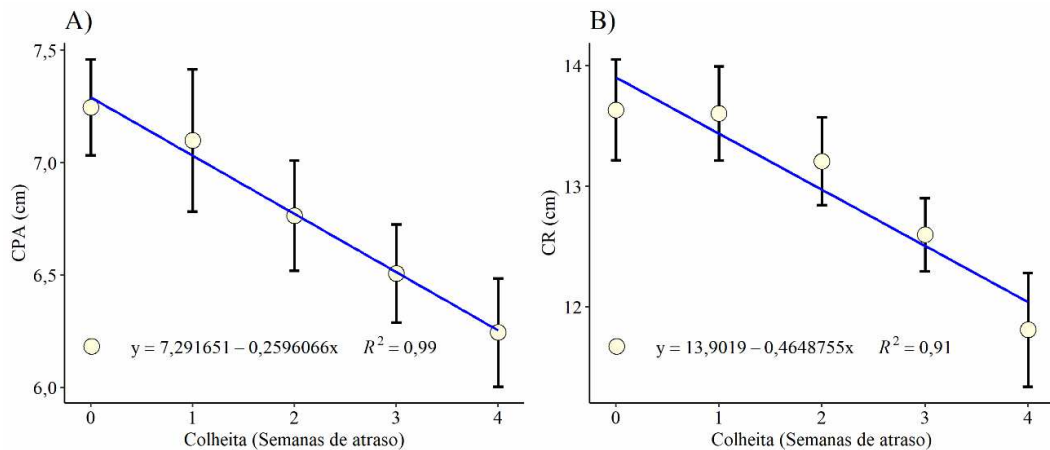
**Fonte:** o próprio autor.

Os testes de vigor baseados no comprimento das plântulas também tiveram resultados bastante semelhantes, com taxa de declínio que evidenciou o impacto negativo do atraso (Figura 11). No comprimento da parte aérea (CPA) e no comprimento das raízes (CR) das plântulas, houve reduções lineares de 0,26 cm e 0,47 cm por semana de atraso, respectivamente.

Os resultados obtidos na segunda época de semeadura (EP2) se assemelharam aos obtidos na EP1. Houve interação entre os fatores cultivares e épocas de colheita para PC, GERM e ENV, e os fatores foram significativos de maneira isolada para CPA e CR. A cultivar BRS 220 obteve a menor média para o comprimento de parte aérea e a maior média

para o comprimento da raiz (Tabela 5).

**Figura 11** - Comprimento de parte aérea (CPA) e comprimento de raiz (CR) de plântulas de trigo para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na primeira época de semeadura (EP1).



Fonte: o próprio autor.

**Tabela 5** - Resultados da análise de variância para as variáveis primeira contagem de germinação (PC), germinação (G) e envelhecimento (ENV), comprimento de parte aérea de plântulas (CPA) e comprimento de raiz de plântulas (CR) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita segunda época de semeadura (EP2).

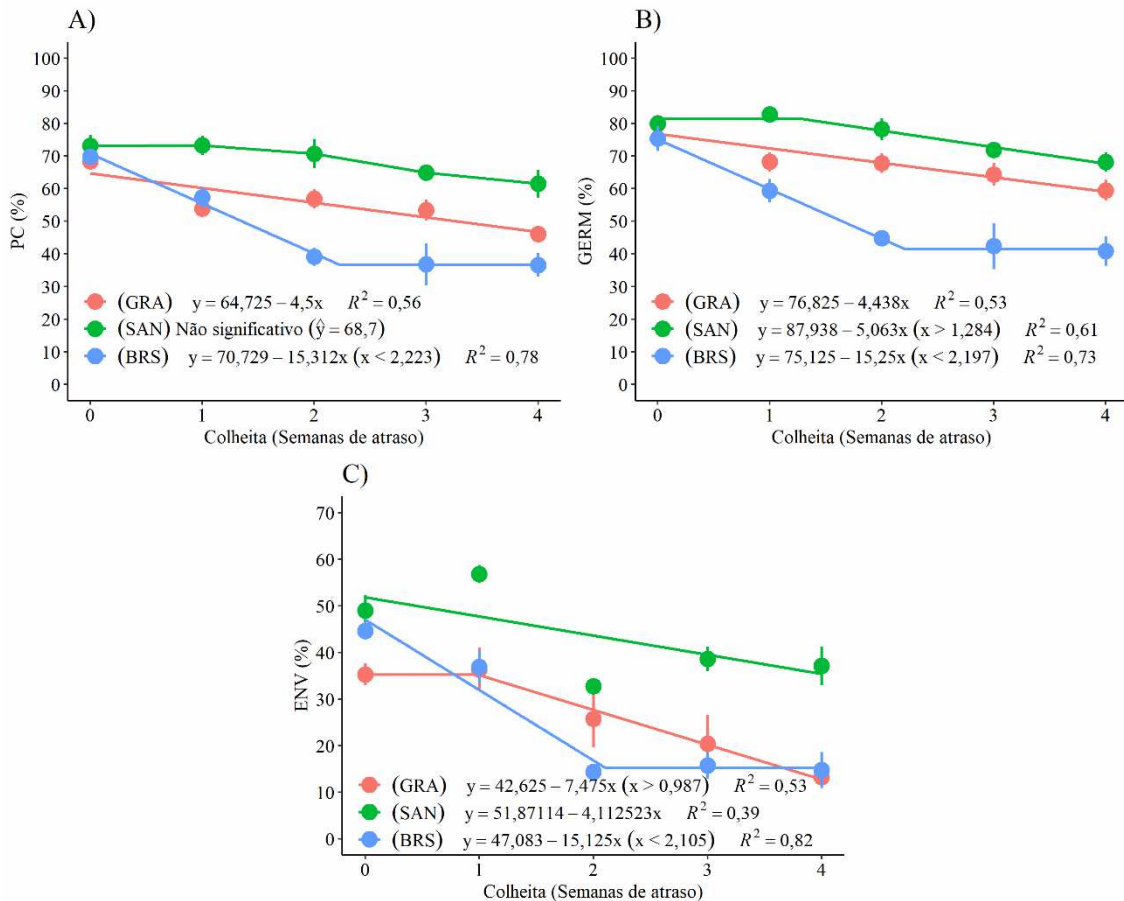
|                   | PC     | GERM   | ENV    | CPA    | CR     |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| BRS               | 47,93  | 52,58  | 25,28  | 7,54 b | 15,6 a |
| GRA               | 55,73  | 67,95  | 26,20  | 8,48 a | 14,6 b |
| SAN               | 68,70  | 76,22  | 42,35  | 8,11 a | 14,1 c |
| CV (%)            | 11,883 | 10,719 | 23,368 | 6,166  | 4,349  |
| <i>p</i> cultivar | 0,001* | 0,001* | 0,001* | 0,001* | 0,001* |
| <i>p</i> colheita | 0,001* | 0,001* | 0,001* | 0,04*  | 0,004* |
| <i>p</i> F1×F2    | 0,003* | 0,009* | 0,02*  | 0,865  | 0,517  |

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Apesar do comportamento semelhante na análise de variância em relação a EP1, as

médias obtidas na EP2 foram mais baixas nas análises referentes à qualidade das sementes. Em relação a germinação, apenas a cultivar BRS Sanhaço obteve médias acima de 80%, com redução a partir da segunda semana de atraso. A cultivar não apresentou uma regressão significativa para PC, indicando uma relativa estabilidade no vigor conforme o atraso na colheita (Figura 12).

**Figura 12** - Regressão das médias de primeira contagem de germinação (PC), germinação (GERM) e envelhecimento (ENV) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na segunda época de semeadura (EP2).



**Fonte:** o próprio autor.

Na PC, a cultivar GRA apresentou uma redução linear de 4,5% por semana de atraso. Os testes evidenciaram a maior sensibilidade da cultivar BRS 220 ao atraso na colheita, com reduções acentuadas de 15% para as 3 variáveis em questão, especialmente até cerca de duas semanas de atraso.

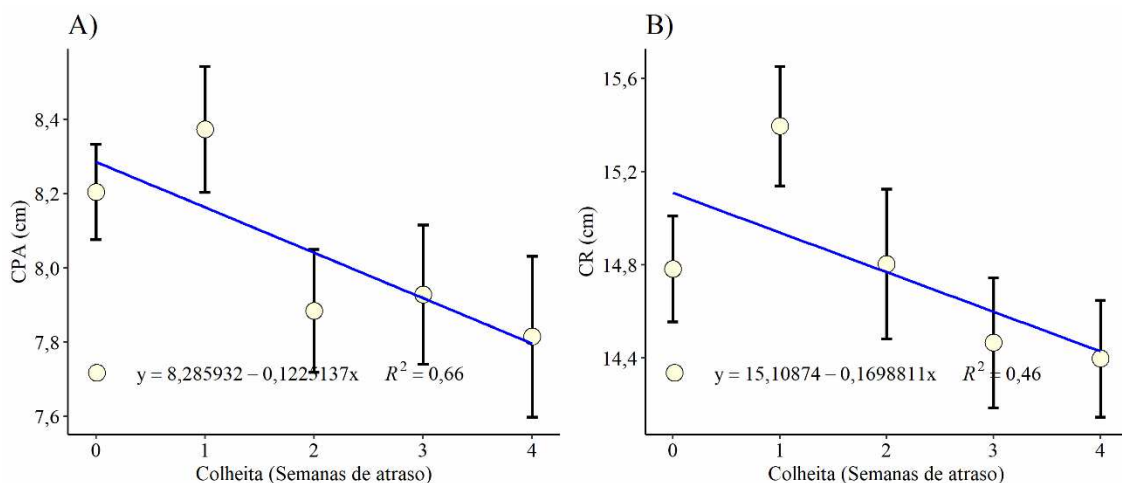
A GRA também apresentou reduções significativas, mas em um ritmo mais moderado, com queda de 4,4% da germinação por semana, enquanto no envelhecimento acelerado, uma

redução de 7,5% por semana após a primeira semana de atraso.

A cultivar SAN demonstrou maior resiliência ao atraso na colheita, especialmente na primeira contagem de germinação (PC), onde os resultados não apresentaram significância estatística, mantendo-se em torno de 69% independentemente do atraso. Na germinação, SAN teve uma queda de 5,1% por semana após a primeira semana de atraso. No envelhecimento acelerado, a redução foi de 4% por semana. De modo geral, SAN se mostrou menos afetada pelo atraso na colheita, com impactos menores na viabilidade e no vigor das sementes.

Com o aumento do atraso na colheita, ambos CPA e CR diminuíram de maneira linear, com uma redução de aproximadamente 0,1224 cm e de 0,1699 cm por semana de atraso, respectivamente (Figuras 13 A e B). A regressão para as variáveis referentes ao comprimento de plântulas demonstrou que o atraso na colheita reduz o comprimento da parte aérea e da raiz das cultivares, com a parte aérea sendo mais prejudicada, indicando o impacto negativo do atraso. Em sementes de soja, verificou-se que o comprimento de plântulas e sua massa seca também são afetados pelo atraso na colheita, o que pode ser explicado pela falha na ativação das enzimas responsáveis pela mobilização das reservas que atuam na germinação da semente e crescimento da plântula (ALI et al., 2018; MOHAMMADI et al., 2012).

**Figura 13** - Comprimento de parte aérea (CPA) e comprimento de raiz (CR) de plântulas de trigo para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na segunda época de semeadura (EP2).



**Fonte:** o próprio autor.

Na avaliação das repostas bioquímicas das plântulas para a primeira época de semeadura (EP1), obteve-se interação significativa entre os fatores apenas para a variável

proteína da raiz. O fator atraso na colheita foi significativo para as variáveis proteína da parte aérea, catalase (CAT) da raiz e superóxido dismutase (SOD) da parte aérea. As cultivares se diferenciaram pelas análises de CAT da parte aérea e raiz e ascorbato peroxidase (APX) da parte aérea e raiz (Tabela 6).

**Tabela 6** - Análise de variância para as variáveis, proteína da parte aérea (PROTA) e da raiz (PROTR), catalase da parte aérea (CATA) e da raiz (CATR), ascorbato peroxidase da parte aérea (APXPA) e da raiz (APXR), superóxido dismutase da parte aérea (SODPA) e da raiz (SODR) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita para a primeira época de semeadura (EP1).

|                   | PROTA  | PROTR  | CATA     | CATR     | APXPA   | APXR   | SODPA   | SODR   |
|-------------------|--------|--------|----------|----------|---------|--------|---------|--------|
| BRS               | 2,353  | 0,965  | 0,126 a  | 0,0293 b | 16,8 a  | 14,3 a | 190,662 | 69,649 |
| GRA               | 2,263  | 0,849  | 0,106 b  | 0,0500 a | 13,9 b  | 11,8 b | 183,956 | 61,665 |
| SAN               | 2,308  | 0,871  | 0,116 ab | 0,0325 b | 14,9 ab | 14,3 a | 188,052 | 68,078 |
| CV (%)            | 13,004 | 14,525 | 11,962   | 41,505   | 18,651  | 21,716 | 15,71   | 19,538 |
| <i>p</i> cultivar | 0,644  | 0,008* | 0,001*   | 0,001*   | 0,008*  | 0,016* | 0,77    | 0,132  |
| <i>p</i> colheita | 0,02*  | 0,453  | 0,11     | 0,033*   | 0,08    | 0,686  | 0,008*  | 0,324  |
| <i>p</i> bloco    | 0,138  | 0,586  | 0,013*   | 0,566    | 0,549   | 0,712  | 0,028*  | 0,679  |
| <i>p</i> F1×F2    | 0,178  | 0,006* | 0,05     | 0,859    | 0,221   | 0,63   | 0,131   | 0,096  |

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

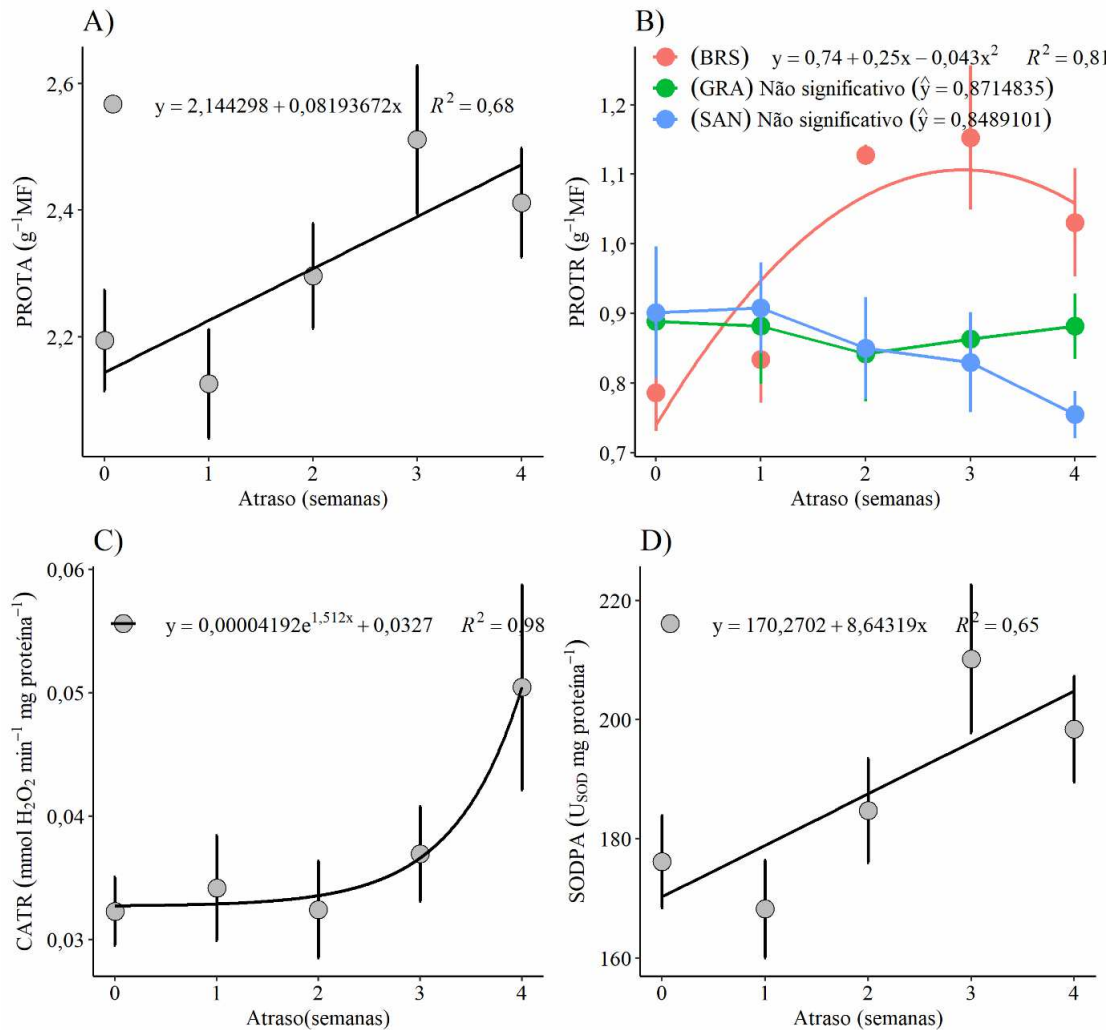
Entre as cultivares a BRS apresentou maior atividade da CAT na parte aérea e da APX na parte aérea e na raiz que a GRA, sem diferir da SAN. Já a GRA apresentou maior atividade da CAT na raiz (Tabela 6). Essa diferença de resposta no sistema enzimático pode ser uma característica genética, que indica uma maior ou menor capacidade do material de tolerar estresse oxidativo.

Para o teor de proteína da raiz (Figura 14 B), a única variável que se observou interação, a cultivar BRS apresentou um valor significativamente maior comparado às outras cultivares, a partir da segunda semana de atraso. Observou-se um aumento contínuo no teor de proteína da raiz com o prolongamento do período do atraso até a terceira semana, seguido por uma redução subsequente. Este incremento no teor de proteína radicular pode representar uma estratégia adaptativa da planta, visando alocar reservas para a promoção do crescimento das raízes. No entanto, essa resposta não foi suficientemente eficaz, uma vez que, conforme demonstrado na Figura 11, o comprimento radicular foi reduzido com o atraso na colheita. As

cultivares GRA e SAN não apresentaram variações significativas na proteína da raiz em resposta ao atraso na colheita, mantendo valores estáveis

Entre os períodos de atraso na colheita, observa-se um aumento linear na concentração de proteína da parte aérea e da atividade da SOD na parte aérea com o atraso na colheita (Figura 14 A e 14 D). Em relação a CAT da parte aérea, houve pouca variação até a terceira semana de atraso, com um aumento abrupto a partir de então (Figura 14 C).

**Figura 14** - Regressão das médias de proteína da parte aérea (PROTA), proteína da raiz (PROTR), catalase da raiz (CATR) e superóxido dismutase da parte aérea (SODPA) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita na primeira época de semeadura (EP1).



Fonte: o próprio autor.

O atraso na colheita influenciou a síntese de proteínas e a atividade enzimática nas

plantas, com respostas variáveis para a raiz e a parte aérea, e entre as cultivares. O aumento na atividade das enzimas antioxidantes, como a CAT e a SOD, indicou que o estresse induzido pelo atraso na colheita ativou mecanismos de defesa antioxidante nas plantas, visando mitigar os danos causados pelo estresse oxidativo.

Na segunda época de semeadura (EP2), houve diferença estatística significativa apenas entre o fator cultivar, para a maioria das variáveis (Tabela 7). A exceção foi verificada para a APX da parte aérea que não apresentou diferença para nenhum dos fatores.

**Tabela 7** - Resultados da análise de variância para as variáveis proteína da parte aérea (PROTA), proteína da raiz (PROTR), catalase da parte aérea (CATA) e da raiz (CATR), ascorbato peroxidase da parte aérea (APXPA) e da raiz (APXR), superóxido dismutase da parte aérea (SODPA) e da raiz (SODR) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita segunda época de semeadura (EP2).

|                   | PROTA           | PROTR           | CATA            | CATR            | APXPA  | APXR            | SODPA           | SODR            |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|
| BRS               | 2,63 a          | 0,921 a         | 0,142 b         | 0,0524 b        | 17,327 | 14,5 a          | 213 a           | 69,6 a          |
| GRA               | 2,37 b          | 0,679 b         | 0,163 a         | 0,0667 a        | 14,164 | 11,2 b          | 198 a           | 48,9 c          |
| SAN               | 2,11 c          | 0,766 b         | 0,125 b         | 0,0360 c        | 16,331 | 13,2 a          | 171 b           | 58,3 b          |
| CV (%)            | 12,63           | 18,31           | 16,51           | 24,44           | 25,58  | 18,82           | 13,82           | 20,57           |
| <i>p</i> cultivar | <i>p</i> <0,001 | <i>p</i> <0,001 | <i>p</i> <0,001 | <i>p</i> <0,001 | 0,053  | <i>p</i> <0,001 | <i>p</i> <0,001 | <i>p</i> <0,001 |
| <i>p</i> colheita | 0,494           | 0,856           | 0,495           | 0,093           | 0,484  | 0,83            | 0,397           | 0,727           |
| <i>p</i> bloco    | 0,122           | 0,309           | 0,648           | 0,508           | 0,666  | 0,14            | 0,014           | 0,147           |
| <i>p</i> F1×F2    | 0,233           | 0,916           | 0,627           | 0,095           | 0,747  | 0,716           | 0,227           | 0,474           |

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. PROTA e PROTR ( $\text{g}^{-1}$  MF), CATA e CATR ( $\text{mmol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$ ), APXPA e APXR ( $\text{UA min}^{-1} \text{ g MF}^{-1}$ ) e SODPA e SODR ( $\text{U}_{\text{SOD}} \cdot \text{mg proteína}^{-1}$ ).

A cultivar BRS apresentou as maiores concentrações de proteína tanto na parte aérea (2,63) quanto na raiz (0,921), superando as cultivares GRA e SAN, com diferenças significativas entre elas. Essa característica pode ser atribuída a uma diferença genética, não influenciada pela qualidade das sementes. Entretanto, na EP1, também se verificou maior teor de proteína na raiz da cultivar BRS, e houve aumento nesse valor com o atraso na colheita. Isso sugere que, além de ser uma característica intrínseca da cultivar, esse aumento no teor de proteína reflete uma resposta bioquímica que visa promover plântulas mais vigorosas.

A atividade da enzima CAT foi maior na cultivar GRA, tanto na parte aérea (0,163), como na raiz (0,0667), indicando a expressão dessa enzima na resposta de defesa antioxidante

nessa cultivar. Também se verificou a expressão da SOD na parte aérea.

Em relação as enzimas APX na raiz os maiores valores foram para BRS e SAN, e para SOD, a BRS mostrou a maior atividade na parte aérea (213) e na raiz (69,6).

Os maiores valores de germinação e vigor observados para SAN na EP2 (Figura 12), associados às menores concentrações de proteína e menor atividade enzimática em geral, podem sugerir uma maior resiliência ao atraso na colheita. Enquanto isso, a BRS, apesar de demonstrar uma resposta mais robusta em termos de teor de proteínas e atividade antioxidante, apresentou menores índices de germinação e vigor, o que sugere maior vulnerabilidade ao estresse causado pelo atraso na colheita. Já a GRA exibiu uma resposta mais específica em relação à atividade da enzima CAT, conseguindo, até certo ponto, tolerar esse atraso.

Importante destacar que o teor de proteína e a atividade das enzimas apresentou valores maiores na parte aérea do que na raiz, mas nem sempre apresentou a mesma resposta aos tratamentos. Indicando que as respostas bioquímicas variam não só em relação a enzima que é ativada no sistema de defesa, mas também depende do local de estudo.

Na análise de componentes principais (PCA) da EP1, a dispersão dos tratamentos obtida com os dois primeiros componentes (PCA1 e PCA2) explicaram 78,8% da variância total existente entre eles (Figura 15). A componente principal PCA1 e a componente principal PC2 contribuíram com 53,4 e 25,42%, respectivamente.

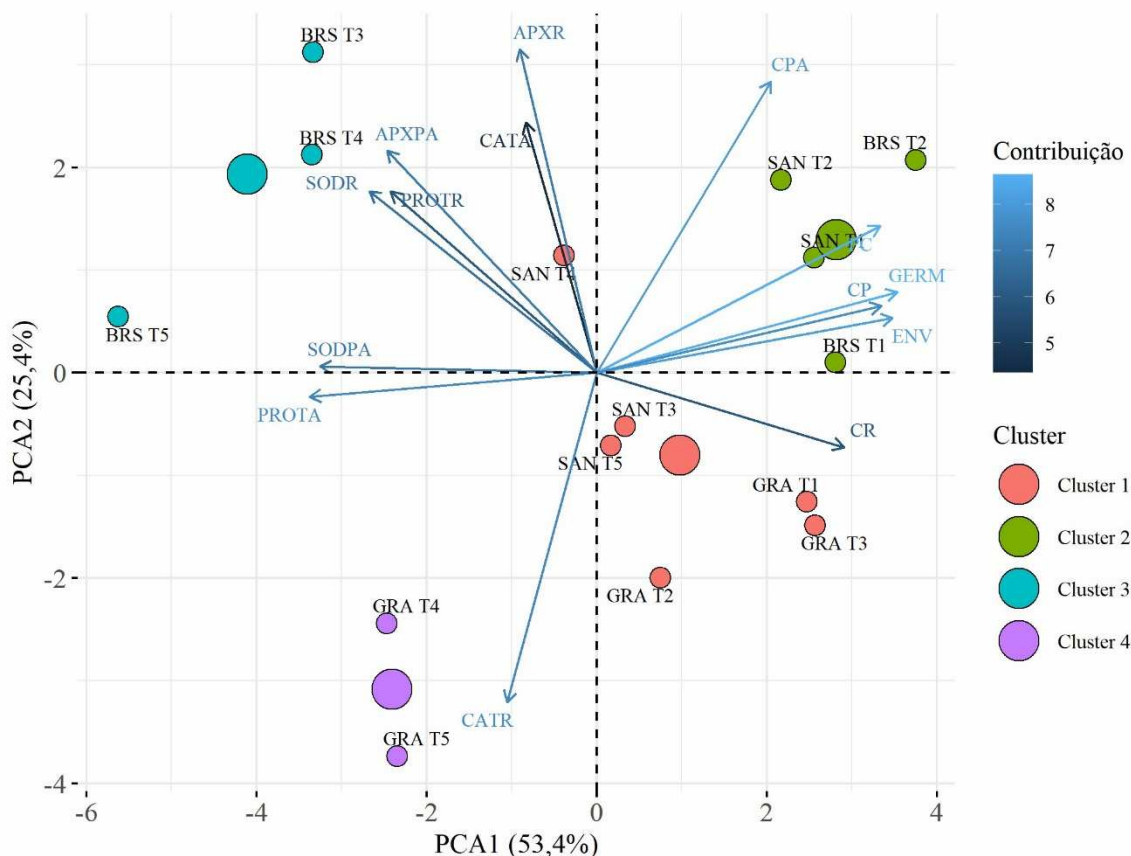
No cluster 1, podemos observar os tratamentos (cultivar x atraso na colheita), apresentaram correlação negativa com a maioria das enzimas antioxidantes, sugerindo menor atividade antioxidante. Evidenciou-se a cultivar GRA com os tempos de colheita 1, 2 e 3 e cultivar SAN no tempo de colheita 3 e 5. O comprimento da raiz correlacionou-se negativamente a atividade enzimática, diferente das demais variáveis que quantificam a qualidade das sementes.

Já no cluster 2, tratamentos que são positivamente correlacionados com a germinação e outras variáveis relacionadas à qualidade das sementes. Nesse agrupamento ficaram as cultivares BRS e SAN nos atrasos de colheita 1 e 2, as quais apresentaram maior vigor.

No cluster 3, evidenciaram-se tratamentos que estão fortemente ligados à atividade das enzimas SOD e APX ambas na parte aérea e na raiz, indicando um alto nível de resposta antioxidante, observando-se principalmente a BRS atrasos de colheita 3, 4 e 5. Enquanto no cluster 4, ficaram os tratamentos que são correlacionados negativamente com as atividades das enzimas na raiz e na parte aérea, sugerindo que estas condições podem ter impactado negativamente as funções enzimáticas.

As análises bioquímicas ficaram posicionadas no lado esquerdo do biplot, enquanto as análises de germinação e vigor ficaram do lado direito, indicando um comportamento inverso: quanto maior a germinação, menor a resposta bioquímica. Isso sugere que as sementes de trigo passaram por estresse oxidativo, resultando em menor germinação e vigor, além de uma maior atividade enzimática. Concordando com essa afirmação, verifica-se que as cultivares GRA e a BRS, nos atrasos T4 e T5 ficaram à esquerda do biplot, ou seja, menor qualidade das sementes com o atraso na colheita.

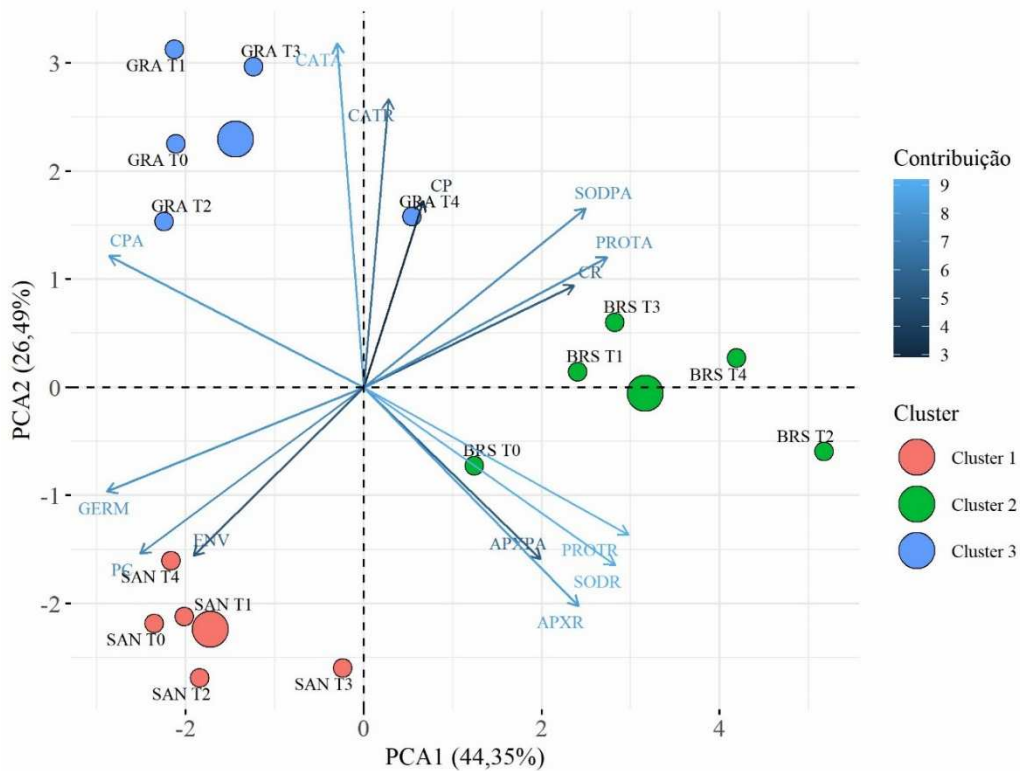
**Figura 15** - Análise de componentes principais para as variáveis primeira contagem de germinação (PC), germinação (GERM) e envelhecimento (ENV), comprimento de plântulas parte aérea (CPA) e raiz (CR), proteína da parte aérea (PROTA) e da raiz (PROTR), catalase da parte aérea (CATA) e da raiz (CATR), ascorbato peroxidase da parte aérea (APXPA) e da raiz (APXR), superóxido dismutase da parte aérea (SODPA) e da raiz (SODR) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita primeira época de semeadura (EP1).



Fonte: o próprio autor.

Na análise de componentes principais (PCA) na segunda época de semeadura (EP2), a dispersão dos tratamentos obtida com os dois primeiros componentes (PCA1 e PCA2) explicaram 70,84% da variância total existente entre eles (Figura 16). A componente principal PCA1 e a componente principal PC2 contribuíram com 44,3 e 26,49%, respectivamente.

**Figura 16** - Análise de componentes principais para as variáveis primeira contagem de germinação (PC), germinação (G) e envelhecimento (ENV), comprimento de plântulas parte aérea (CPA) e raiz (CR), proteína da parte aérea (PROTA) e da raiz (PROTR), catalase da parte aérea (CATA) e da raiz (CATR), ascorbato peroxidase da parte aérea (APXPA) e da raiz (APXR), superóxido dismutase da parte aérea (SODPA) e da raiz (SODR) para as cultivares BRS 220 (BRS), BRS Gralha-Azul (GRA) e BRS Sanhaço (SAN) em função do atraso na colheita segunda época de semeadura (EP2).



Fonte: o próprio autor.

Na EP2 a menor heterogeneidade nos dados resultou em uma menor quantidade de clusters em comparação à análise da EP1 (Figura 15), sendo os clusters separados pelas cultivares. Ao lado esquerdo do biplot, verifica-se que a cultivar SAN agrupou-se com a GRA na maioria dos períodos de atraso na colheita nos testes de envelhecimento, germinação, primeira contagem, comprimento de plântulas parte aérea, sugerindo a relação entre esses parâmetros. A cultivar BRS e as análises bioquímicas foram posicionadas à direita do biplot, evidenciando a influência das enzimas antioxidantes, sugerindo, assim como no EP1, uma correlação entre a atividade enzimática e a qualidade das sementes.

Assim, a PCA também evidenciou o comportamento heterogêneo entre as cultivares nos diferentes períodos de atraso, destacando a cultivar BRS com maior suscetibilidade ao atraso, apresentando uma redução mais acentuada na qualidade ao longo do tempo.

Comparando as duas épocas, destacam-se o teor de proteína na parte aérea, a atividade da SOD na parte aérea e a CAT na raiz como bons indicadores do efeito do atraso na colheita em diferentes cultivares de trigo.

Os resultados obtidos neste trabalho, se alinham com o contexto do processo de deterioração de sementes, que é um fenômeno complexo e parcialmente elucidado e ocorre durante toda a vida da semente. Alterações bioquímicas significativas ocorrem durante a deterioração, sendo que os danos de oxidação causados pelas EROs são a principal causa (ZHANG et al., 2021). Esse fenômeno é observado em várias culturas, como soja, milho e trigo, sendo fundamental entender como o atraso na colheita pode acelerar esses processos.

No presente estudo, observou-se que o atraso na colheita influenciou significativamente a síntese de proteínas e a atividade enzimática nas plantas, com respostas distintas entre as cultivares e partes da planta (raiz e parte aérea). A atividade enzimática antioxidante, como a da catalase (CAT) e da superóxido dismutase (SOD), desempenhou um papel crucial na mitigação dos danos causados pelo estresse oxidativo induzido pelo atraso. Essas enzimas atuam como mecanismos de defesa contra as EROs, favorecendo a manutenção da qualidade fisiológica das sementes (MARTINS et al., 2012). A maior atividade da catalase, observada em certas cultivares como a BRS 220, está associada a uma maior defesa antioxidativa, especialmente em situações de estresse que envolvem a produção de  $H_2O_2$ , regulada pela atividade das peroxidases (MITTLER, 2002).

Na cultura da soja, um comportamento semelhante foi observado, com redução do comprimento de plântulas devido ao atraso na colheita. Isso se deve ao aumento da taxa de deterioração das sementes, exacerbada pela exposição às variações de temperatura e precipitação, reduzindo o desempenho das plântulas (MATHIAS et al., 2017). Diversos

estudos corroboram essa observação, relatando que o atraso na colheita resulta em uma diminuição da qualidade das sementes de soja, com redução na germinação e no vigor (DINIZ et al., 2013; XAVIER et al., 2015; THANT et al., 2017; ALI et al., 2018). Além disso, o atraso na colheita afeta o comprimento de plântulas e sua massa seca, devido à falha na ativação das enzimas responsáveis pela mobilização das reservas durante a germinação (ALI et al., 2018; MOHAMMADI et al., 2012). Na cultura do milho, o impacto do atraso na colheita também foi estudado, revelando perdas quantitativas e qualitativas, causadas por fatores fisiológicos e morfológicos (PANISON et al., 2016).

Importante destacar que para a formação de enzimas são necessárias proteínas e consumo de energia (SALISBURY; ROSS, 2013). Isso significa que, quando as plântulas precisam produzir as enzimas do sistema antioxidante, elas muitas vezes deixam de sintetizar enzimas essenciais para a germinação, além de redirecionar proteínas que seriam utilizadas em outros sítios metabólicos de crescimento. Como consequência, o desenvolvimento das plântulas é comprometido, resultando em menor vigor.

Além disso, o vigor e a deterioração das sementes estão inter-relacionados: à medida que a deterioração aumenta, o vigor diminui (ZHANG et al., 2015). A deterioração consome reservas essenciais, afetando negativamente o vigor das sementes. A massa dos órgãos das plântulas é diretamente dependente da massa das sementes; portanto, a redução de massa desde a colheita até a emergência reduz o crescimento das plântulas, resultando em plântulas menos vigorosas e com menor capacidade de estabelecimento em condições adversas ou restritivas (EBONE et al., 2019).

A redução na qualidade das sementes com o atraso na colheita ocorreu porque, logo após atingirem a maturidade fisiológica, elas estão no auge de sua qualidade, e qualquer atraso inicia o processo natural de deterioração (BEWLEY et al., 2013). No presente trabalho, o armazenamento prolongado no campo devido ao atraso na colheita expôs as sementes a intempéries climáticas, como variações de temperatura e alta umidade relativa do ar, causadas principalmente por precipitação (BEWLEY et al., 2013; RAO et al., 2017). Essas condições, combinadas com altas temperaturas, aceleraram o processo de deterioração (ZHANG et al., 2021).

Adicionalmente, a alteração na umidade relativa do ar (UR) afeta diretamente o teor de umidade das sementes, o que pode alterar sua qualidade. As sementes tendem a equilibrar sua umidade com o vapor d'água presente no ambiente ao seu redor, o que pode acelerar a deterioração quando há maior teor de água no eixo embrionário da semente durante o

envelhecimento. Isso explica a perda de viabilidade das sementes, já que o alongamento do embrião é necessário para a conclusão da germinação (KIBINZA et al., 2006).

Assim, a colheita no estágio adequado de maturidade está diretamente relacionada à maior qualidade das sementes, influenciando fatores essenciais como germinação, vigor, viabilidade e o armazenamento subsequente (KHATUN; KABIR; BHUIYAN, 2009).

Com base nesses achados, os resultados deste estudo corroboram a importância das enzimas antioxidantes na resposta ao estresse oxidativo induzido pelo atraso na colheita. Apesar da cultivar BRS, ter apresentado maior síntese de proteínas e atividade antioxidante, essa elevada atividade não foi suficiente para reparar as perdas de viabilidade e vigor.

Esses resultados destacam a complexidade dos fatores envolvidos na deterioração das sementes e a importância do manejo adequado do tempo de colheita para preservar a qualidade e o vigor das sementes. A aplicação prática desses achados pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de manejo, especialmente em cenários onde o atraso na colheita é inevitável.

#### 5.4 CONCLUSÃO

As cultivares de trigo BRS 220, BRS Gralha-Azul e BRS Sanhaço apresentaram respostas distintas ao atraso na colheita, evidenciando variações genéticas na tolerância a esse fator.

A cultivar BRS 220 mostrou-se mais suscetível ao atraso na colheita, com reduções acentuadas na primeira contagem de germinação, germinação e envelhecimento acelerado, principalmente após duas semanas de atraso.

Os testes de vigor com base no comprimento das plântulas indicaram que o atraso na colheita impacta negativamente o crescimento da parte aérea e das raízes, com reduções significativas em todas as cultivares, mas com intensidade variável.

Nas plântulas de trigo, o teor de proteína na parte aérea, a atividade da superóxido dismutase na parte aérea e a catalase na raiz são bons indicadores do efeito do atraso na colheita em diferentes cultivares.

#### 5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, I. M.; NULIT, R.; IBRAHIM, M. H.; UDDIN, M. K. Effect of delay harvest on seed quality and germination of three varieties of soybean (*Glycine max*) seeds. **Plant Archives**, v. 18, n. 2, p. 1961-1966, 2018.

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS (AOSA). **Seed vigor testing handbook revision**. Stillwater, OK: AOSA, 2002. 88p. (Contribution 32).

BAILLY, C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. **Seed science research**, v. 14, n. 2, p. 93-107, 2004.

BARBOSA, M. R.; DE ARAÚJO SILVA, M. M.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.

BASSOI, M. C.; RIEDE, C. R.; CAMPOS, L. A. C.; FOLONI, J. S. S.; NASCIMENTO JUNIOR, A.; GARBUGLIO, D. D.; ARRUDA, K. M. A. **Cultivares de trigo e triticale Embrapa e Iapar**. Londrina: Embrapa Soja. 2016.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 408 p. 2013.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. **Regras para análise de sementes**. 2009.

CAKMAK, I.; STRBAC, D.; MARSCHNER, H. Activities of hydrogen peroxide-scavenging enzymes in germinating wheat seeds. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 44, n. 258, p. 127-132, 1993.

DEL LONGO, O. T.; GONZÁLEZ, C. A.; PASTORI, G. M.; TRIPPI, V. S. Antioxidant defences under hyperoxygenic and hyperosmotic conditions in leaves of two lines of maize with differential sensitivity to drought. **Plant and cell physiology**, v. 34, n. 7, p. 1023-1028, 1993.

DINIZ, F. O., M. S. REIS, L. A. D. S. DIAS, E. F. ARAÚJO, T. SEDIYAMA AND C. A. SEDIYAMA. Physiological quality of soybean seeds of cultivars submitted to harvesting delay and its association with seedling emergence in the field. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 2, p. 147-152, 2013.

EBONE, L. A.; CAVERZAN, A.; CHAVARRIA, G. Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 145, p. 34-42, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Instituto Agrônômico do Paraná. **Mapa de solos do estado do Paraná: legenda atualizada**, 2008. p. 74.

FERREIRA, I. C. F. R.; ABREU, R. M. V. Stress oxidativo, antioxidantes e fitoquímicos. **Bioanálise**, p. 32-39, 2007.

FLORES, A. V.; DE LIMA, E. E.; GUIMARÃES, V. M.; DE CARVALHO GONÇALVES; J. F., DA MATA ATAÍDE, G.; DE PÁDUA BARROS, D. Atividade enzimática durante a germinação de sementes de *Melanoxylon brauna* Schott sob diferentes temperaturas. **Cerne**, v. 20, n. 3, 401-408, 2014.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I., occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 59, p. 309-314, 1977.

JYOTI, J.; MALIK, C. P. Seed deterioration: a review. **International journal of life sciences biotechnology and pharma research**, v. 2, n. 3, p. 374-385, 2013.

KAPOOR, N.; ARYA, A.; SIDDIQUI, M. A.; KUMAR, H.; AMIR, A. Physiological and biochemical changes during seed deterioration in aged seeds of rice (*Oryza sativa* L.). **American Journal of Plant Physiology**, v. 6, n. 1, p. 28-35, 2011.

KHAN, F. A.; BHAT, S. A.; NARAYAN, S.; MAQBOOL, R.; MURTUZA, I.; KHAN, F. U. Seed deterioration and priming-An Overview. **SKUAST Journal of Research**, v. 19, n. 1, p. 12-21, 2017.

KHATUN, A.; KABIR, G.; BHUIYAN, M. A. H. Effect of harvesting stages on the seed quality of lentil (*Lens culinaris* L.) during storage. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, v. 34, n. 4, p. 565-576, 2009.

KIBINZA, S.; VINEL, D.; CÔME, D.; BAILLY, C.; CORBINEAU, F. Sunflower seed deterioration as related to moisture content during ageing, energy metabolism and active oxygen species scavenging. **Physiologia Plantarum**, v. 128, n. 3, p. 496-506, 2006.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020.

MARTINS, D. C.; VILELA, F. K. J.; GUIMARÃES, R. M.; GOMES, L. A. A.; SILVA, P. A. D. Physiological maturity of eggplant seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, p. 534-540, 2012.

MATHIAS, V.; PEREIRA, T.; MANTOVANI, A.; ZÍLIO, M.; MIOTTO, P.; COELHO, C. M. M. Implicações da época de colheita sobre a qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Agro@mbiente on-line**, v. 11, n. 3, p. 223-231, 2017.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in plant science**, v. 7, n. 9, p. 405-410, 2002.

MOHAMMADI, H., A. SOLTANI, H. R. SADEGHIPOUR AND E. ZEINALI. Effects of seed aging on subsequent seed reserve utilization and seedling growth in soybean. **International Journal of Plant Production**, v. 5 n. 1, p. 65-70, 2012.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019. 210 p.

- PANISON, F.; SANGOI, L.; KOLLING, D. F.; COELHO, C. M. M.; DURLI, M. M. Épocas de colheita e desempenho agrônômico de híbridos de milho com ciclos de crescimento contrastantes. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v. 38, p. 219-226, 2016.
- PEIXOTO, P. H. P.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANNA, R.; MOSQUIM, P. R.; MOREIRA, M. A. Aluminum effects on lipid peroxidation and activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 11, n. 3, p. 137-143, 1999.
- PRODANOVIĆ, O.; PRODANOVIĆ, R.; BOGDANOVIĆ, J.; MITROVIĆ, A.; MILOSAVIĆ, N.; RADOTIĆ, K. Antioxidative enzymes during germination of two lines of serbian spruce [*Picea omorika* (Panč.) Purkyně]. **Archives of Biological Sciences**, Oxford, v. 5, n. 3, p. 209-216, 2007.
- RAO, N.K.; DULLOO, M.E.; ENGELS, J.M.; A review of factors that influence the production of quality seed for long-term conservation in genebanks. **Genetic resources and crop evolution**, v. 64, p. 1061-1074, 2017.
- SHIMIZU, G. D.; GONÇALVES, L. S. A. AgroReg: Main regression models in agricultural sciences implemented as an R Package. **Scientia Agricola**, v. 80, p. e20220041, 2023.
- SHIMIZU, G. D.; MARUBAYASHI, R. Y. P.; GONÇALVES, L. S. A. **AgroR: Experimental Statistics and Graphics for Agricultural Sciences**. R package version 1.3.6. 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/AgroR/index.html>
- SIBALDELLI, R. N. R.; FARIAS, J. R. B. **Boletim agrometeorológico da Embrapa Soja, Londrina, PR – 2018**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 26 p.
- TEAM, R. Core. RA language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical. **Computing**, 2020.
- THANT, P. S., A. B. PUTEH, U. R. SINNIH AND M. F. ISMAIL. Physiological and chromosomal changes of delayed harvest soybean (*Glycine max* L. Merr.) seeds. **Seed Science and Technology**, v. 45, n. 2, p. 340-353, 2017.
- TOMMASI, F.; PACIOLLA, C.; PINTO, M. C.; GARA, L. A. Comparative study of glutathione and ascorbate metabolism during germination of *Pinus pinea* L. seeds. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 52, p. 647- 1654, 2001.
- TSUKAHARA, R. Y.; FONSECA, I. C. D. B.; SILVA, M. A. D. A. E.; KOCHINSKI, E. G., PRESTES, J.; SUYAMA, J. T. Produtividade de soja em consequência do atraso da colheita e de condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 905-915, 2016.
- VERGARA, R; SILVA, R. N. O. D.; NADAL, A. P.; GADOTTI, G. I.; AUMONDE, T. Z.; VILLELA, F. A. Harvest delay, storage and physiological quality of soybean seeds. **Journal of Seed Science**, v. 41, p. 506-513, 2019.
- XAVIER, T. S. DARONCH, D.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S.; DE CARVALHO, E. V.; DOS SANTOS, W. F. Época de colheita na qualidade de sementes de genótipos de soja. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 2, p. 241-245, 2015.
- ZHANG, H.; WANG, W. Q.; LIU, S. J.; MØLLER, I. M.; SONG, S. Q. Proteome analysis of poplar seed vigor. **PloS one**, v. 10, n. 7, p. e0132509, 2015.

ZHANG, K.; ZHANG, Y.; SUN, J.; MENG, J.; TAO, J. Deterioration of orthodox seeds during ageing: Influencing factors, physiological alterations and the role of reactive oxygen species. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, p. 475-485, 2021.