



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

CARLOS HENRIQUE DOS SANTOS FERNANDES

**TRINEXAPAQUE-ETÍLICO E DOSES DE NITROGÊNIO NO  
DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE FISIOLÓGICA  
DE SEMENTES DE CEVADA**

---

Londrina  
2025

CARLOS HENRIQUE DOS SANTOS FERNANDES

**TRINEXAPAQUE-ETÍLICO E DOSES DE NITROGÊNIO NO  
DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE FISIOLÓGICA  
DE SEMENTES DE CEVADA**

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

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli

Co-orientador: Dr. Klever Márcio Antunes Arruda

Londrina  
2025

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

F363t Fernandes, Carlos Henrique dos Santos.  
Trinexapaque-etílico e doses de nitrogênio no desempenho produtivo e qualidade fisiológica de sementes de cevada / Carlos Henrique dos Santos Fernandes. - Londrina, 2025.  
95 f.

Orientador: Claudemir Zucareli.  
Coorientador: Klever Márcio Antunes Arruda.  
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2025.  
Inclui bibliografia.

1. Acamamento de plantas - Tese. 2. Regulador de Crescimento - Tese. 3. Potencial fisiológico - Tese. 4. Componentes de rendimentos - Tese. I. Zucareli, Claudemir. II. Arruda, Klever Márcio Antunes. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

CARLOS HENRIQUE DOS SANTOS FERNANDES

**TRINEXAPAQUE-ETÍLICO E DOSES DE NITROGÊNIO NO  
DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE FISIOLÓGICA  
DE SEMENTES DE CEVADA**

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

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Claudemir Zucareli  
UEL – Londrina – Paraná

---

Dr.<sup>a</sup> Juliana Sawada Buratto  
IDR-Paraná – Londrina – Paraná

---

Dr. Denis Santiago da Costa  
IFPR – Ivaiporã – Paraná

---

Dr. José Salvador Simoneti Foloni  
EMBRAPA – Londrina – Paraná

---

Dr. André Mateus Prando  
EMBRAPA – Londrina – Paraná

Londrina, 24 de fevereiro 2025.

Dedico este trabalho

A Deus, pela vida que me foi concedida e pelas inúmeras bênçãos recebidas. Sou eternamente grato aos meus pais, Vando Pereira Fernandes e Maria Lucia dos Santos Fernandes, que sempre confiaram em meu potencial, oferecendo-me o apoio necessário para que eu pudesse fazer minhas escolhas com liberdade e segurança

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Estadual de Londrina – UEL e a todos os docentes e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelo suporte acadêmico e institucional.

Ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER (IDR-Paraná) e a todos os seus colaboradores, pela parceria e disponibilidade na realização dos experimentos de campo, com destaque ao Pesquisador Dr. Klever Márcio Antunes Arruda, pelas valiosas críticas, sugestões, pela amizade e dedicação ao revisar os textos.

Agradeço imensamente ao meu orientador, Prof. Dr. Claudemir Zucareli, pelas orientações precisas, pelo constante apoio, incentivo e contribuições essenciais ao desenvolvimento deste trabalho.

À minha família, que sempre acreditou em mim e me proporcionou o suporte necessário para seguir adiante, com confiança e dedicação.

Aos colegas da Graduação e Pós-Graduação, pelo companheirismo, convivência enriquecedora e pelas contribuições ao longo dessa jornada.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos durante o período desta pesquisa. E, finalmente, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu chegasse até aqui e concluísse esta etapa.

FERNANDES, Carlos Henrique dos Santos. **Trinexapaque-etílico e doses de nitrogênio no desempenho produtivo e qualidade fisiológica de sementes de cevada**. 2025. 95f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, 2025.

## RESUMO

A aplicação adequada de nitrogênio (N) na cultura da cevada é crucial para otimizar o rendimento de grãos e sementes e o desempenho fisiológico das sementes. O excesso de nitrogênio pode levar ao crescimento excessivo das plantas e aumentar o risco de acamamento. Isso pode ser mitigado através do uso de reguladores de crescimento, que ajudam a reduzir os entrenós e aumentar a espessura do caule e diminuir o risco de acamamento. As respostas das plantas de cevada à aplicação de nitrogênio e aos reguladores de crescimento podem variar significativamente dependendo do genótipo e das condições ambientais do local de cultivo. Portanto, é essencial ajustar as práticas de manejo de acordo com essas variáveis para otimizar o rendimento da cultura e o potencial fisiológico das sementes. Neste sentido, objetivou-se avaliar o desempenho produtivo e a qualidade fisiológica de sementes de cevada cultivada sob diferentes doses de nitrogênio associadas ao regulador de crescimento trinexapaque-etílico (TE) em dois ambientes de cultivo. Os experimentos foram conduzidos nos municípios de Londrina e Mauá da Serra, Paraná, com a cultivar de cevada BRS Cauê. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro doses de N em cobertura (0, 25, 50 e 75 kg ha<sup>-1</sup>) na forma de ureia, com e sem a aplicação de trinexapaque-etílico na dose de 125 g ha<sup>-1</sup> durante o período de alongação do colmo, entre o 1º e 2º nó perceptível. Os caracteres agrônômicos avaliados foram: comprimento de espiga, número de grãos por espiga, altura de plantas, espigas m<sup>-2</sup>, acamamento, massa de mil grãos, peso do hectolitro, e produtividade de grãos. Para a qualidade fisiológica de sementes foram avaliados: produtividade de sementes, massa de mil sementes, primeira contagem de germinação, germinação, envelhecimento acelerado, comprimento e massa seca de plântulas e emergência de plântulas em areia. Os dados coletados foram submetidos a análise de variância, e a comparação entre os níveis de trinexapaque-etílico (com e sem aplicação) foi feita por meio do teste de média Tukey. Para as doses de nitrogênio, os dados foram analisados por regressão até o 2º grau, a 5% de probabilidade. A aplicação de doses de nitrogênio tem impacto significativo no crescimento da cevada em Londrina e Mauá da Serra, além de impactar positivamente a produtividade observada apenas em Londrina. Contudo, essa aplicação eleva a susceptibilidade ao acamamento e reduz parâmetros normalmente associados à qualidade dos grãos, como PH e MMG. A aplicação de trinexapaque-etílico mostrou-se eficaz em reduzir a altura das plantas e o acamamento, mesmo quando do uso de altas doses de nitrogênio, além de contribuir para o aumento da produtividade. Entretanto, a utilização de trinexapaque-etílico também afeta negativamente o peso hectolitro. O aumento das doses de nitrogênio resultou em maior produtividade de sementes, porém reduziu a qualidade fisiológica, como evidenciado pela massa de mil sementes e envelhecimento acelerado. Por outro lado, a aplicação de TE aumentou a produtividade, mas teve um impacto negativo na qualidade das sementes, reduzindo a germinação e o vigor. Esses resultados destacam a importância de um equilíbrio no manejo agrônômico para maximizar tanto a produtividade quanto a qualidade das sementes, garantindo uma produção sustentável.

**Palavras-chave:** *Hordeum vulgare* L; acamamento; regulador de crescimento; potencial fisiológico; componentes de rendimentos; produtividade.

FERNANDES, Carlos Henrique dos Santos. **Trinexapac-ethyl and nitrogen doses on the productive performance and physiological quality of barley seeds**. 2025. 95f. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Londrina State University, Londrina, PR, 2025.

### ABSTRACT

Adequate nitrogen (N) application in barley crops is crucial to optimize grain yield and seed physiological performance. Excess nitrogen can lead to excessive plant growth and increase the risk of lodging. This can be mitigated using growth regulators, which help to reduce internodes and increase stem thickness and decrease the risk of lodging. The responses of barley plants to nitrogen application and growth regulators can vary significantly depending on the genotype and environmental conditions of the growing site. Therefore, it is essential to adjust management practices according to these variables to optimize crop yield and seed physiological potential. In this sense, the objective was to evaluate the productive performance and physiological quality of barley seeds under different doses of nitrogen, associated with the growth regulator trinexapac-ethyl (TE) in two cultivation environments. The experiments were conducted in the municipalities of Londrina and Mauá da Serra, Paraná, with the barley cultivar BRS Cauê. The experimental design adopted was randomized blocks with four replications, in a 4 x 2 factorial scheme, with four doses of N in top dressing (0, 25, 50 and 75 kg ha<sup>-1</sup>) in the form of urea, and with and without the application of TE at a dose of 125 g ha<sup>-1</sup> during the period of stem elongation, between the 1st and 2nd noticeable node. The agronomic traits evaluated were ear length, number of grains per ear, plant height, ear m<sup>-2</sup>, plant lodging, mass of one thousand grains, hectoliter weight, and grain productivity. Additionally, physiological seed quality traits were evaluated seed productivity, mass of one thousand seeds, first germination count, germination, accelerated aging, length and dry mass of seedlings and emergence of seedlings in sand. The collected data were subjected to analysis of variance, and the comparison between the TE levels (with and without application) was made using the Tukey test. For the nitrogen doses, the data were analyzed by regression up to the 2nd degree, at 5% probability. The application of nitrogen doses has a significant impact on barley growth in Londrina and Mauá da Serra, in addition to positively impacting productivity observed only in Londrina. However, this application increases susceptibility to lodging and reduces parameters normally associated with grain quality, such as hectoliter weight and thousand-grain weight. The application of trinexapac-ethyl has proven effective in reducing plant height and lodging, even when using high nitrogen doses, as well as contributing to increased productivity. However, the use of trinexapac-ethyl also negatively affects hectoliter weight. The study reveals that increasing nitrogen doses resulted in greater seed productivity, but reduced physiological quality, as evidenced by the mass of a thousand seeds and accelerated aging. On the other hand, application of the TE increased productivity but had a negative impact on seed quality, reducing seed germination and vigor. These results highlight the importance of a balance in agronomic management to maximize both productivity and seed quality, ensuring sustainable, high-yield production.

**Keywords:** *Hordeum vulgare* L; lodging; growth regulators; physiological potential; yield components; productivity.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1** – Tipos de curvas de colmo de aveia no processo de acamamento.....22

### ARTIGO A

**Figura 2** - Dados médios diários de temperatura e precipitação pluvial para os períodos de condução dos experimentos em Londrina-PR e Mauá da Serra-PR.....56

**Figura 3** - AP: altura da planta (cm); E/M<sup>2</sup>: número de espiga m<sup>-2</sup>; AC: acamamento de plantas da cultivar de cevada BRS Cauê, considerando diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022. <sup>ns</sup> e \* = não significativo e significativo a 5% de erro pelo teste-F.....64

**Figura 4** - MMG: massa de mil grãos (gramas); PH: peso hectolitro (kg hL<sup>-1</sup>) da cultivar de cevada BRS Cauê, considerando diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022. <sup>ns</sup> e \* = não significativo e significativo a 5% de erro pelo teste-F.....66

**Figura 5** - PROD: produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) da cultivar de cevada BRS Cauê, considerando diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022. <sup>ns</sup> e \* = não significativo e significativo a 5% de erro pelo teste-F.....67

### ARTIGO B

**Figura 6** - Dados médios diários de temperatura e precipitação pluvial para os períodos de condução dos experimentos em Londrina-PR e Mauá da Serra-PR.....75

**Figura 7** - PROD: produtividade de sementes (kg ha<sup>-1</sup>); MMS: massa de mil sementes (gramas) da cultivar de cevada BRS Cauê, considerando diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022. <sup>ns</sup> e \* = não significativo e significativo a 5% de erro pelo teste-F.....83

**Figura 8** - G: germinação (%); EA: envelhecimento acelerado (%) da cultivar de cevada BRS Cauê, considerando diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022. <sup>ns</sup> e \* = não significativo e significativo a 5% de erro pelo teste-F.....86

**Figura 9** - CP: comprimento de plântulas (cm); MSP: massa seca de plântulas (mg) da cultivar de cevada BRS Cauê, considerando diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022. <sup>ns</sup> e \* = não significativo e significativo a 5% de erro pelo teste-F.....88

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO A

**Tabela 1** – Valores do quadrado médio da análise de variância e estimativa dos coeficientes de variação (CV) para oito características avaliadas na cultivar de cevada BRS Cauê, considerando diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022.....59

**Tabela 2** - Valores médios de oito características avaliadas na cultivar de cevada BRS Cauê, considerando “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022.....61

### ARTIGO B

**Tabela 3** – Valores do quadrado médio da análise de variância e estimativa dos coeficientes de variação (CV) para oito características avaliadas na cultivar de cevada BRS Cauê, considerando diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022.....79

**Tabela 4** - Valores médios de oito características avaliadas na cultivar de cevada BRS Cauê, considerando “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022.....80

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>CONAB</b>	Companhia Nacional de Abastecimento
<b>FAOSTAT</b>	Statistics Division of Food and Agriculture Organization
<b>IDR-Paraná</b>	Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER
<b>POTAFÓS</b>	Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e Fósforo

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	13
2.1 A CULTURA DA CEVADA .....	13
2.1.1 Origem, Domesticação e Aspectos Botânicos.....	13
2.1.2 Produção e Utilização da Cevada .....	15
2.2 ACAMAMENTO EM CEREAIS .....	20
2.3 IMPORTÂNCIA DO NITROGÊNIO PARA A CULTURA DA CEVADA.....	23
2.3.1 Adubação Nitrogenada .....	25
2.3.2 Época de Aplicação do Nitrogênio .....	27
2.3.3 Doses de Nitrogênio .....	29
2.4 REGULADOR DE CRESCIMENTO VEGETAL .....	30
2.4.1 Modo de Ação do Trinexapaque-etílico .....	31
2.4.2 Doses e Época de Aplicação de Trinexapaque-etílico.....	32
2.5 COMPONENTES DE RENDIMENTO DE GRÃOS E SEMENTES.....	34
2.6 QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES .....	38
2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43
3 ARTIGO A .....	53
3.1 RESUMO .....	53
3.2 INTRODUÇÃO.....	54
3.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	55
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	59
3.5 CONCLUSÃO.....	68
3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69
4 ARTIGO B .....	71
4.1 RESUMO .....	71
4.2 INTRODUÇÃO.....	72
4.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	75
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	79
4.5 CONCLUSÃO.....	91
4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	91
5 CONCLUSÕES GERAIS .....	94

## 1 INTRODUÇÃO

A cevada (*Hordeum vulgare* L) é uma cultura versátil com ampla gama de aplicações. No Brasil, a malteação é o principal uso econômico da cevada, sendo esta matéria-prima essencial na produção de cerveja e destilados. A qualidade da cevada, especialmente em termos de teor de proteínas, umidade e germinação, desempenha papel crucial na malteação e, conseqüentemente, na qualidade do produto final. Além disso, a cevada também está ganhando destaque na alimentação humana devido aos benefícios nutricionais da  $\beta$ -glucana, um tipo de fibra solúvel presente em seus grãos. A  $\beta$ -glucana tem sido associada a diversos benefícios à saúde, incluindo a redução do colesterol e dos níveis de glicose no sangue, além de melhorar a saúde intestinal. Na alimentação animal, a cevada é utilizada de várias formas, incluindo o uso direto das plantas como forragem verde e dos grãos na composição de rações. A cevada possui teor de proteína relativamente alto em comparação com outros cereais, o que a torna fonte valiosa de nutrientes para o bovino, ovino e outros animais.

A região Sul do Brasil tem se destacado como uma área de grande importância para o cultivo de cevada, consolidando-se especialmente como uma cultura alternativa de inverno. Nos últimos anos, a expansão da área cultivada, o aumento da produtividade e a elevação da produção total de cevada na região Sul do Brasil têm sido impulsionados por diversos fatores. Entre os principais, destaca-se o crescimento da demanda nacional por malte, utilizado predominantemente pela indústria cervejeira, que responde por mais de 90% da utilização dos grãos de cevada no Brasil. Além disso, incentivos de cooperativas agrícolas locais, como disponibilização de sementes de cultivares adaptadas ao clima regional, o fornecimento de assistência técnica especializada e a instalação de maltarias próximas às principais áreas de produção do cereal, têm oferecido maior segurança e rentabilidade aos agricultores. Ainda assim, o Brasil importa a maior parte da cevada e do malte que demanda. Vale destacar que o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de cerveja, ficando atrás apenas da China e dos Estados Unidos, mas que figura apenas na 42ª posição no ranking dos maiores produtores mundiais de cevada.

Diante desse cenário, há uma clara necessidade de expandir o volume de produção de cevada para suprir a crescente demanda do mercado nacional. Isso pode envolver o aumento da área cultivada, a adoção de práticas agronômicas mais eficientes para melhorar o rendimento da cultura e o investimento em tecnologias de produção e processamento que aumentem a qualidade e a competitividade do produto.

Sabe-se que a constituição genética de uma cultivar, as condições

edafoclimáticas do meio de cultivo, o manejo aplicado à lavoura e a interação entre esses fatores são essenciais para o planejamento e a tomada de decisões na agricultura. É preciso considerar cuidadosamente todos esses aspectos ao desenvolver estratégias para aumentar o rendimento e a qualidade dos grãos e sementes de cevada. Isso pode envolver a seleção adequada de cultivares, a adoção de práticas de manejo sustentáveis e a utilização de tecnologias que otimizem o desempenho da cultura em diferentes condições ambientais.

Entre as técnicas de manejo, a adubação nitrogenada desempenha um papel crucial no manejo da cevada, uma vez que o nitrogênio (N) é um dos principais nutrientes necessários para o seu crescimento e desenvolvimento saudáveis. A aplicação adequada de N pode levar a aumentos significativos na produtividade deste cereal, bem como na qualidade dos grãos e sementes. O N está diretamente relacionado ao tamanho e ao peso dos grãos ou sementes, além de influenciar a concentração de proteínas e outros componentes importantes. Diferentes cultivares de cevada podem apresentar respostas distintas à adubação nitrogenada devido a diferenças em sua capacidade de emissão de perfilhos, ciclo de crescimento e potencial produtivo de grãos e sementes. Algumas cultivares podem ser mais eficientes na utilização do N do que outras, e suas necessidades nutricionais podem variar. A época e a dose de aplicação de N podem influenciar significativamente a eficiência de utilização desse nutriente pela planta e, conseqüentemente, o rendimento e a qualidade da cevada. Uma dose excessiva de N pode resultar em crescimento excessivo das plantas, reduzindo a resistência a doenças e causando acamamento, que, quando ocorre na fase de enchimento de grãos, pode limitar a translocação de carboidratos nas plantas e diminuir o rendimento e a qualidade das sementes. Neste sentido, entre as estratégias para minimizar os riscos de acamamento quando do uso de altas doses de N, estão o uso de cultivares de porte baixo ou a aplicação de reguladores de crescimento.

Os reguladores de crescimento são compostos químicos utilizados na agricultura para modificar o crescimento das plantas, visando melhorar o potencial produtivo de algumas espécies cultivadas; que têm sido eficazes na redução da estatura das plantas e utilizados como técnica de controle para o acamamento, sem decréscimo do rendimento. Diversos reguladores de crescimento têm sido utilizados em cereais de inverno, destacando-se entre eles o trinexapaque-etílico (TE), que age nas plantas encurtando a alongação dos entrenós. Este regulador atua inibindo a enzima 3  $\beta$ -hidroxilase, que desempenha um papel fundamental na biossíntese do ácido giberélico, uma importante classe de hormônios vegetais responsáveis pelo crescimento vegetal. Ao inibir essa enzima, o TE reduz a produção de ácido giberélico ativo, especialmente o ácido giberélico ativo ( $GA_1$ ), enquanto aumenta os níveis de seu precursor biossintético imediato, o  $GA_{20}$ . O  $GA_1$  é conhecido por promover o alongamento

celular e o crescimento de tecidos vegetais, incluindo o crescimento do caule. Portanto, ao reduzir os níveis de  $GA_1$ , o TE causa inibição no crescimento vertical da planta, resultando em um efeito de controle de crescimento que é frequentemente desejado em culturas como trigo, aveia e cevada. O TE tem sido associado não apenas à redução do acamamento (inclinação excessiva dos caules), mas também a uma série de efeitos positivos na fisiologia e produtividade das plantas da cevada. Além disso, o TE pode afetar a partição de fotoassimilados na planta, ou seja, como os carboidratos produzidos pela fotossíntese são distribuídos entre diferentes partes da planta, como folhas, caules e grãos. Isso pode levar a uma alocação mais eficiente de energia para o desenvolvimento dos grãos ou sementes, potencialmente aumentando a produtividade. Na cultura da cevada, por exemplo, é importante destacar que os efeitos do TE na produtividade podem variar dependendo do genótipo, das condições ambientais e do manejo agrônomico. Nem todas as variedades respondem da mesma forma a aplicação do TE, e fatores como a dose aplicada, o momento da aplicação e as condições de crescimento podem influenciar os resultados. Portanto, ao utilizar o TE ou qualquer outra substância no manejo da cevada, é essencial considerar a interação entre o produto, o genótipo, o ambiente de cultivo e as práticas agrônomicas para otimizar os benefícios e minimizar os potenciais riscos.

Neste sentido objetivou-se avaliar o desempenho produtivo e a qualidade fisiológica de sementes de cevada cultivada sob diferentes doses de nitrogênio, associada ao regulador de crescimento trinexapaque-etílico em dois ambientes de cultivo contrastantes quanto às condições edafoclimáticas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A CULTURA DA CEVADA

#### 2. 1. 1 Origem, Domesticação e Aspectos Botânicos

A cevada (*Hordeum vulgare* L) desfruta de uma longa história como um dos primeiros cereais a serem domesticados pela humanidade. Sua importância cultural, histórica e econômica é evidente em várias civilizações ao longo dos milênios (BROWN et al., 2009); A cevada foi uma das primeiras plantas a serem domesticadas, com evidências arqueológicas indicando seu cultivo já no período neolítico, por volta de 7000 a.C. Os primeiros indícios de cultivo foram encontrados na região conhecida como "*Fertile Crescent*" (Crescente Fértil), no Oriente Médio, onde hoje se localizam países como Israel, Jordânia e Síria. A cevada desempenhou um papel crucial na subsistência e no desenvolvimento das antigas civilizações que habitavam a região do Crescente Fértil. Ela era uma fonte de alimento básica, sendo consumida como grão, farinha e também na produção de bebidas alcoólicas, como cerveja (BOTHMER; JACOBSEN, 1998). Portanto, a cevada não é apenas um cereal de grande importância econômica nos dias de hoje, mas também uma cultura com uma história rica e fascinante que remonta a milhares de anos.

É interessante notar como a compreensão da origem e evolução da cevada envolveu diferentes teorias ao longo do tempo, refletindo a complexidade do processo de domesticação das plantas. Uma das teorias sugere que a cevada de seis fileiras (*Hordeum vulgare* var. *hexastichon*) se derivou de uma forma silvestre de duas fileiras (*Hordeum vulgare* var. *distichon*), por meio de mutações genéticas ou seleção artificial. Esta teoria implica uma evolução direta da cevada de duas fileiras para a cevada de seis fileiras. A segunda teoria sugere que o progenitor da cevada de seis fileiras já existia previamente como uma forma silvestre separada, com características distintas da cevada de duas fileiras. Nesta visão, a cevada de seis fileiras teria surgido independentemente e não necessariamente a partir da cevada de duas fileiras (BARBIERI, 2008).

Ao longo do tempo, diferentes pesquisadores propuseram e debateram essas teorias, e houve discordâncias e revisões nas interpretações. No entanto, há um consenso crescente de que a espécie *Hordeum spontaneum*, uma cevada selvagem, é o ancestral imediato de todas as cevadas cultivadas, incluindo tanto as de duas fileiras quanto as de seis fileiras. Isso é suportado por evidências genéticas, arqueológicas e morfológicas que indicam uma relação próxima entre as cevadas cultivadas e as formas selvagens de cevada (BOTHMER; JACOBSEN, 1998).

Essa compreensão evolutiva da cevada é fundamental não apenas para a ciência básica da botânica e da evolução das plantas, mas também para a seleção e melhoramento genético de variedades de cevada visando adaptabilidade, resistência a doenças, rendimento e qualidade dos grãos ou sementes.

Taxonomicamente, a cevada (*Hordeum vulgare* L.) é um cereal pertencente à família das gramíneas e ao gênero *Hordeum*. Este gênero pertence à tribo *Triticeae* da família *Poaceae* (*Gramineae*). A tribo *Triticeae* é a mais importante da família *Poaceae*, composta por vários gêneros de gramíneas. Este grupo inclui gêneros como *Hordeum* (cevada), *Triticum* (trigo) e *Secale* (centeio), entre outros. A cevada, portanto, está intimamente relacionada a esses outros cereais. O gênero *Hordeum* é diversificado, composto por pelo menos 32 espécies descritas até o momento. Além da cevada cultivada (*Hordeum vulgare*), existem espécies selvagens e outras variedades relacionadas que desempenham papéis importantes na ecologia e na pesquisa genética (BOTHMER et al., 1991). A descrição das características morfológicas da *Hordeum vulgare*, como as espiguetas uniflorais com ráquila unida ao grão e a presença de estruturas de proteção como a pálea e o lema, é importante para identificar e classificar a espécie (CAIERÃO, 2008).

A única espécie de cevada cultivada é a *Hordeum vulgare* e apresenta três subespécies: 1) *Hordeum vulgare* ssp. *vulgare* (cevas hexásticas), sendo esta subespécie caracterizada pela presença de seis fileiras de grãos em cada espiguetas. Essa disposição de fileiras é uma característica marcante que distingue as cevas hexásticas das cevas dísticas. As cevas hexásticas são amplamente cultivadas em várias regiões do mundo e são importantes para a produção de grãos e malte; 2) *Hordeum vulgare* ssp. *distichum* (cevas dísticas), que ao contrário das cevas hexásticas apresentam apenas duas fileiras de grãos em cada espiguetas. Elas também são cultivadas em várias regiões e são utilizadas para a produção de grãos e malte. Historicamente, as cevas dísticas foram mais amplamente cultivadas em algumas regiões do que as cevas hexásticas; 3) *Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum* (cevas de ráquis frágil, em geral silvestres), uma subespécie que compreende as cevas selvagens que crescem naturalmente em diferentes regiões. Elas são caracterizadas por terem um ráquis (eixo principal da espiga) frágil, o que facilita a dispersão das sementes. As cevas selvagens têm sido importantes na pesquisa genética e no melhoramento da cevada cultivada devido à sua diversidade genética e resistência a estresses bióticos e abióticos. A espécie *Hordeum vulgare* caracteriza-se por ser anual e diplóide ( $2n=2x=14$ ). Embora tenham sido obtidas formas tetraplóides artificiais da cevada ( $2n=2x=28$ ), essas formas enfrentam problemas de fertilidade e não têm sido de grande interesse prático (CAIERÃO, 2008).

Segundo Gupta et al. (2010), as duas variações de cevada cultivada, *H. vulgare spp. vulgare* e *H. vulgare spp. distichum*, podem ser utilizadas para malteio. Porém, a utilização para malte no Brasil é derivada da cevada dística pelo maior teor de amido constituinte no grão e menor porcentagem de proteínas totais (PALMER, 2006; RANI; BHARDWAJ, 2021).

No geral, a cevada desempenhou e continua a desempenhar um papel importante na alimentação humana e na agricultura em todo o mundo. Sua versatilidade, adaptabilidade e valor nutricional a tornam uma cultura valiosa em uma variedade de contextos, desde a produção de bebidas alcoólicas até o fornecimento de alimento básico em áreas de clima desafiador. Apesar da predominância do uso da cevada na produção de malte e cerveja, ela permaneceu como uma importante fonte de energia e alimento em algumas culturas, principalmente na Ásia e no norte da África (SHEWRY; ULLRICH, 2011). A cevada é amplamente reconhecida como o cereal mais adaptado a condições de cultivo em latitudes e altitudes mais elevadas. Ela é capaz de crescer em ambientes com baixas temperaturas e altitudes elevadas, onde outras culturas podem ter dificuldades devido a condições climáticas adversas (BAIK; ULLRICH, 2008).

## 2. 1. 2 Produção e Utilização da Cevada

Dentre os cereais, a cevada ocupa o quarto lugar em área de cultivo e produção de grãos. No entanto, a área mundial colhida com o cereal decresceu entre as safras de 1961 e 2023, passando de 54,5 milhões de hectares para 46,2 milhões de hectares, respectivamente (FAOSTAT, 2025). O declínio na área cultivada com cevada pode ser atribuído à diversificação das atividades agrícolas e ao aumento do cultivo de outras culturas com maior expressão econômica. Adicionalmente, a preferência por outras fontes de alimentação animal pode ter levado à redução da demanda por cevada como ração, já que outros grãos, como milho, trigo e soja, podem ser mais amplamente utilizados devido a considerações de custo, disponibilidade e perfil nutricional.

Dos 46,2 milhões de hectares cultivados com cevada na safra 2023, foram produzidas 145,7 milhões de toneladas de grãos; obtendo-se, com isso, uma produtividade média de 3151 kg ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2025). Ainda de acordo com estes dados, Rússia, Austrália, França, Alemanha e Turquia são os maiores produtores do cereal, respondendo por cerca de 45% da produção mundial. Esses países não apenas atendem à demanda interna, mas também exportam malte para diversas regiões, devido ao aumento global no consumo de cerveja,

especialmente em mercados emergentes na Ásia e na América Latina (MARKET RESEARCH INTELLECT, 2024; VISUAL CAPITALIST, 2024).

No Brasil, historicamente o cultivo da cevada se restringe aos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina; sendo registrado cultivo também no estado de São Paulo a partir da safra 2022 (CONAB, 2025). Ainda segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento, a área cultivada com cevada no Brasil chegou a 157,2 mil hectares no final da década de 90. No entanto, a área deste cereal teve forte redução na década seguinte, chegando a apenas 77,5 mil hectares na safra 2009. Graças a incrementos de área ocorridos no Paraná, desde então, a área nacional ocupada com o cereal tem-se recuperado, chegando a 123,1 mil hectares na safra 2024, quando o estado paranaense respondeu por 63,2% da área nacional cultivada. Bastante significativo tem sido também o aumento da produção nacional que saltou de 201,4 mil toneladas em 2009, para 438,4 mil toneladas na safra 2024. Novamente, destacando-se o Paraná que respondeu por 65,7% da produção nacional em 2024. No geral, o aumento da área cultivada e da produção de cevada no Paraná representa um marco importante para o setor agrícola do estado, consolidando-se como uma estratégia bem-sucedida para diversificação das culturas de inverno. Esse crescimento tem contribuído para fortalecer a posição do Brasil como produtor de cevada, embora a produção nacional ainda seja pouco significativa em relação à produção mundial. Atualmente, o Brasil responde por menos de 1% da produção global de cevada, destacando a necessidade de investimentos contínuos em tecnologia, manejo e políticas de incentivo para ampliar sua participação nesse mercado. A região Sul do Brasil tem se destacado como uma área de grande importância para o cultivo de cevada, consolidando-se especialmente como uma cultura alternativa de inverno. Nos últimos anos, a expansão da área cultivada, o aumento do rendimento e a elevação da produção total de cevada têm sido impulsionados por diversos fatores. Entre os principais, destaca-se o crescimento da demanda nacional por malte, utilizado predominantemente pela indústria cervejeira, que responde por mais de 90% da utilização dos grãos de cevada no Brasil (EMBRAPA, 2021). Além disso, incentivos de cooperativas agrícolas locais, como subsídios para sementes adaptadas ao clima regional, a disponibilidade de assistência técnica especializada e a instalação de maltarias próximas às áreas de produção, têm oferecido maior segurança e rentabilidade para os agricultores (DESTAQUE RURAL, 2024). Um exemplo relevante é a Maltaria Campos Gerais, localizada em Ponta Grossa (PR), que iniciou suas operações em janeiro de 2024 e foi oficialmente inaugurada em 6 de junho de 2024. O empreendimento, desenvolvido em parceria com cinco cooperativas da região, representa um investimento de R\$ 1,6 bilhão e adicionou 240 mil toneladas anuais à capacidade nacional de

produção de malte, o que equivale a 15% do consumo nacional. Além disso, há planos de expansão para dobrar essa capacidade produtiva, alcançando 480 mil toneladas anuais, fortalecendo ainda mais o setor e consolidando o Brasil como um importante player no mercado global de malte (EICHELBAUN, 2023; FREITAS, 2024; A REDE, 2024).

Outro fator relevante é a adaptabilidade da cevada às condições edafoclimáticas da região Sul, que apresenta invernos com temperaturas amenas e boa disponibilidade hídrica, características favoráveis ao desenvolvimento da cultura. Comparada a outras culturas de inverno, como trigo e aveia, a cevada pode oferecer maior retorno financeiro em função dos contratos de compra garantidos por maltarias e indústrias locais (FREITAS, 2024). Esse conjunto de fatores tem tornado a cevada uma escolha estratégica para os produtores, fortalecendo sua presença na matriz agrícola da região.

O mercado brasileiro de cevada e malte apresenta um cenário de grande potencial, mas com desafios significativos. A demanda anual por malte no país é de aproximadamente 1,1 milhão de toneladas (DESTAQUE RURAL, 2024). Para atender a essa demanda, o Brasil precisaria produzir cerca de 2,4 milhões de toneladas de cevada, considerando os índices médios de conversão de cevada em malte. No entanto, se considerarmos que a produção nacional de cevada em 2024 foi de 438,4 mil toneladas, ainda que toda esta produção fosse destinada à malteação, isso atenderia apenas cerca de 18% da demanda interna; conseqüentemente, este cenário tem requerido importações massivas para atender a demanda interna. Nesse contexto, o Brasil importou 937 mil toneladas de cevada entre janeiro e dezembro de 2024, um aumento expressivo em comparação com as 616 mil toneladas importadas no mesmo período de 2023. O custo dessas importações foi de US\$ 264,93 milhões, com 89,3% do volume vindo da Argentina (COMEX STAT, 2025). Além disso, foram importadas 1,18 milhão de toneladas de malte em 2024, uma redução em relação às 1,30 milhão de toneladas importadas no mesmo período de 2023 (COMEX STAT, 2025). Esse aumento nas importações de cevada e a leve redução na de malte refletem mudanças estruturais no mercado nacional, impulsionadas pela inauguração da Maltaria Campos Gerais da Agrária Malte, no estado do Paraná. Com uma capacidade de produção de 240 mil toneladas de malte por ano, a nova maltaria ampliou a demanda por cevada nacional e importada para abastecer a crescente indústria cervejeira brasileira.

O mercado cervejeiro brasileiro, que responde por 2% do Produto Interno Bruto (PIB), gera um faturamento anual de R\$ 50 bilhões e emprega mais de 2 milhões de pessoas, incluindo empregos diretos, indiretos e induzidos (SINDICERV, 2024). Apesar disso, a exportação de produtos derivados do malte, como cerveja, ainda é limitada em comparação

com outros grandes players internacionais, como Alemanha e Bélgica. A crescente demanda global por malte, especialmente em mercados emergentes na Ásia e na América Latina, reforça a relevância desse mercado no Brasil, destacando a importância de ampliar a produção nacional de cevada para reduzir a dependência de importações e atender ao mercado interno de forma mais sustentável.

Entre os cereais de inverno, a cevada é uma cultura de destaque no Brasil, mas ainda enfrenta desafios em termos de produtividade. De acordo com dados da safra de 2024, a produtividade média da cevada no Brasil foi de 3561 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2025), representando um aumento significativo em relação à safra anterior. No entanto, esses valores ainda estão muito aquém dos patamares observados em países como Irlanda e Bélgica, que superam os 8000 kg ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2025). Para que o Brasil alcance níveis mais elevados e aumente sua competitividade no mercado global, é essencial investir em cultivares superiores e na adoção de técnicas de manejo aprimoradas, que maximizem o potencial produtivo da cultura, reduzam os impactos climáticos adversos e aumentem a eficiência no uso de recursos.

A cevada é amplamente reconhecida por sua versatilidade, sendo utilizada em diferentes setores econômicos. No mercado global, o principal uso econômico da cevada está na malteação, processo no qual os grãos são transformados em malte, essencial para a produção de cerveja e destilados. Estima-se que aproximadamente 33% da produção mundial de cevada seja destinada a essa finalidade (DESTAQUE RURAL, 2024). No Brasil, a cevada para malte é majoritariamente produzida para atender à demanda da indústria cervejeira nacional, que consome mais de 1,1 milhão de toneladas de malte por ano, com grande dependência de importações devido à baixa produção interna (DESTAQUE RURAL, 2024).

Além disso, a cevada tem aplicação na alimentação animal, que representa o maior destino da produção mundial, com cerca de 65% utilizados na forma de forragem, silagem ou como ingrediente de rações para gado, ovelhas, porcos e aves (IDEHEN; TANG; SANG, 2017). Sua riqueza em energia e nutrientes essenciais, como fibras e proteínas, a torna uma opção atrativa para a nutrição animal em regiões agrícolas com alta densidade de produção pecuária (SUBEDI et al., 2021).

Na alimentação humana a cevada é menos expressiva, representando apenas 2% da produção global (FAOSTAT, 2025). Mesmo assim, ela é valorizada em mercados específicos por sua qualidade nutricional, sendo rica em fibras solúveis, como a  $\beta$ -glucana, que contribuem para a saúde cardiovascular e o controle glicêmico. Produtos como farinhas, flocos, pães, bolos, biscoitos e cereais matinais exploram o potencial funcional da cevada,

especialmente em mercados voltados para alimentos saudáveis (GUFTA et al., 2010; KRUKLIS, 2019).

Portanto, enquanto no mercado global a maior parte da cevada é destinada à alimentação animal, seguida pela indústria cervejeira, no Brasil a prioridade é atender à demanda crescente por malte. Esses números e aplicações evidenciam a importância estratégica da cevada em diferentes setores econômicos e destacam a necessidade de aprimorar a produção nacional para reduzir a dependência de importações e atender à diversificação de seus mercados.

Além disso, a cevada tem ganhado atenção crescente devido aos benefícios para a saúde, especialmente pelas  $\beta$ -glucanas, que estão associadas à redução do colesterol LDL e ao controle dos níveis de glicose no sangue, o que pode ser vantajoso para pessoas com diabetes ou preocupadas com doenças cardiovasculares. Esses compostos têm também potencial prebiótico, favorecendo o crescimento de bactérias benéficas no intestino, o que pode contribuir para a saúde digestiva e até para a prevenção de certos tipos de câncer, como o de cólon. O conteúdo de  $\beta$ -glucanas varia de 2 a 10%, dependendo de fatores como a variedade de cevada e as condições de cultivo (BAIK; ULLRICH, 2008; RANI; BHARDWAJ, 2021).

A seleção de cultivares brasileiras de cevada para a indústria de malte e cervejaria ao longo dos anos tem sido direcionada para características específicas (EMBRAPA, 2016). Entre essas características, destaca-se a redução das concentrações de  $\beta$ -glucana, uma vez que altos níveis dessa fibra (5,2-5,7%) podem interferir negativamente no processo de maltagem, afetando a qualidade e o rendimento do malte produzido (BELETI; DUARTE; GEORG-KRAEMER, 2012). Altos teores de  $\beta$ -glucana podem causar problemas durante a maltagem, como dificuldades no controle da viscosidade durante a maceração e filtragem, além de afetar a qualidade final da cerveja (LIZARAZO, 2003; MUZZOLON et al., 2021; RANI; BHARDWAJ, 2021). Portanto, cultivares de cevada com baixas concentrações de  $\beta$ -glucana são preferidas pela indústria de malte e cervejaria.

Além disso, outros fatores como o teor de proteína e o tamanho dos grãos também são considerados na seleção das cultivares. Altos teores de proteína (15,1-16,5%) podem afetar negativamente o processo de fermentação e a estabilidade da espuma da cerveja. Variações no tamanho dos grãos também podem influenciar a eficiência da moagem e a uniformidade da maceração (LIZARAZO, 2003; MUZZOLON et al., 2021; RANI; BHARDWAJ, 2021). Em resumo, a seleção de cultivares de cevada adaptadas à indústria de malte e cervejaria envolve a busca por características específicas que garantam a produção de malte de alta qualidade e cerveja com as características desejadas, conforme observado em

estudos recentes, evitando problemas durante o processamento e garantindo a satisfação do consumidor final.

## 2.2 ACAMAMENTO EM CEREAIS

O uso de genótipos de cevada mais produtivos e responsivos à adubação nitrogenada, juntamente com técnicas de manejo intensivas, como o aumento da densidade de semeadura, tem sido uma prática comum para maximizar a produtividade de grãos ou sementes (MATOS; BORSOI, 2023). No entanto, essas práticas podem aumentar os riscos de acamamento das plantas, o que pode ter efeitos negativos na qualidade e no rendimento dos grãos ou sementes. Quando as plantas de cevada estão acamadas, isso pode afetar a fotossíntese, a absorção e translocação de nutrientes para as sementes em desenvolvimento. Isso pode resultar em diminuição na qualidade das sementes, incluindo redução na concentração de proteínas, que está relacionada diretamente com o vigor das mesmas. O'Donovan et al. (2012) ao estudarem o efeito de densidade de semeadura na cultura da cevada, no Canadá, observaram que o acamamento interferiu negativamente na concentração de proteínas nas sementes. Portanto, é essencial considerar esses aspectos no manejo da cultura da cevada para minimizar os riscos de acamamento e garantir rendimento de grãos e sementes satisfatório e boa qualidade final do produto.

O acamamento em cereais é influenciado por uma série de fatores intrínsecos e extrínsecos, e o genótipo da planta desempenha um papel crucial nesse fenômeno. Características específicas do genótipo, como conteúdos de celulose, hemicelulose e lignina, especialmente nos nós e entrenós basais, têm uma influência significativa na resistência ou suscetibilidade ao acamamento. Além das características genéticas da planta, outros fatores como as condições do solo, o clima e as práticas culturais adotadas também desempenham um papel importante no acamamento. Por exemplo, solos compactados ou encharcados podem aumentar a probabilidade de acamamento, assim como condições climáticas adversas, como ventos fortes e chuvas intensas. Da mesma forma, práticas culturais como densidade de semeadura e manejo da adubação também podem influenciar a suscetibilidade ao acamamento. Portanto, uma abordagem integrada que leve em consideração todos esses fatores é essencial para minimizar o risco de acamamento e garantir um rendimento de grãos e sementes satisfatório na cultura de cereais como a cevada (MINELLA, 2017).

De acordo com Pinthus (1973), o acamamento se constitui na queda ou arqueamento das plantas em virtude da flexão do colmo e/ou má ancoragem propiciada pelas

raízes. O mesmo autor cita que o problema é mais comum em regiões subtropicais ou tropicais com elevada altitude, em função do maior crescimento das plantas. O acamamento é classificado como uma modificação permanente na posição caulinar do colmo de gramíneas em relação à sua posição original, tornando-se plantas recurvadas. A curvatura das plantas, provocada pelo acamamento, por intervenção de ventos fortes ou da chuva, reduz a seção transversal dos feixes vasculares destas, reduzindo, portanto, o fluxo de fotoassimilados da parte aérea em direção às raízes e, da mesma forma, dos nutrientes absorvidos pelas raízes em direção à parte aérea (LINZAMEYER JUNIOR et al., 2008).

Estudos realizados com cereais de inverno, como trigo, aveia e cevada, indicam que o acamamento pode ser um fator significativo de redução do rendimento de grãos, com perdas que podem chegar a até 60%, sendo as variedades de porte alto as mais afetadas, principalmente quando o acamamento ocorre durante a fase reprodutiva (FEDERIZZI; FANTINI; CARVALHO, 1994). Apesar de muitos estudos, como os de Aguiar et al. (2019), serem conduzidos com aveia, as observações são relevantes para a cevada devido às semelhanças agronômicas entre as culturas. Nesse contexto, os prejuízos relacionados ao acamamento tendem a aumentar dependendo da fase do ciclo em que ocorre, impactando negativamente o rendimento e a qualidade dos grãos e sementes (ZANATTA; OERLECKE, 1991).

Assim, é essencial considerar esses aspectos no manejo da cultura da cevada para minimizar os riscos de acamamento e garantir um rendimento de grãos e sementes satisfatório e boa qualidade final do produto. Caso esse fenômeno ocorra no período de florescimento, pode limitar a fotossíntese e a translocação de fotoassimilados, reduzindo a produtividade. Já quando ocorre na fase de maturação, as espigas podem entrar em contato com o solo, acarretando decréscimo no peso do hectolitro, deterioração dos grãos e sementes e dificuldades na colheita mecanizada (ZAGONEL; FERNANDES, 2007).

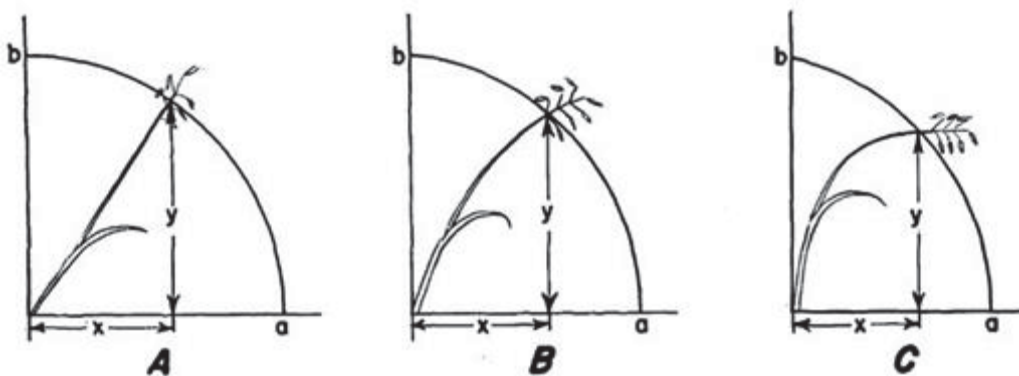
No que tange à fitossanidade, o acamamento pode aumentar a intensidade e a severidade de algumas doenças ou perdas de qualidade, como, por exemplo, apodrecimento, além de reduzir a eficiência dos agrotóxicos aplicados, pois é difícil fazer com que estes atinjam as folhas próximas ao solo via pulverização (GRANT, 2022).

Sabe-se que plantas com entrenós mais curtos toleram de forma mais eficaz o acamamento, proporcionando aumento na produtividade e qualidade de grãos e sementes (MADIĆ et al., 2016). Entretanto, em cultivares de porte alto, o acamamento ocorre com maior frequência quando são aplicadas doses elevadas de fertilizantes nitrogenados associadas a ambientes favoráveis e altas densidades de semeadura. Estudos indicam que níveis elevados de

nitrogênio, combinados com densidades de plantio inadequadas, podem reduzir a resistência dos caules, aumentando a suscetibilidade ao acamamento devido à alteração na morfologia dos entrenós e na composição estrutural das plantas (ZHANG et al., 2017).

O acamamento pode ocorrer de distintas maneiras, conforme o local da planta em que há o quebramento. Dentre os pioneiros na classificação desse fenômeno, Grafius e Brown (1954) propuseram e ilustraram três tipos de acamamento em aveia, de acordo com a flexão: a) acamamento de raiz, b) acamamento do colmo e c) acamamento do tipo “chicote”. O acamamento de raiz consiste no deslocamento da base, o acamamento de colmo é a curvatura ao longo dos entrenós; por fim o acamamento do tipo “chicote” é ocasionado no pedúnculo da planta (Figura 1).

**Figura 1** - Tipos de curvas de colmos de aveia no processo de acamamento



**Fonte:** Grafius e Brown (1954).

Já, para a cultura do trigo, Berry et al. (2003) classificaram o acamamento em dois tipos: a) acamamento de colmo e; b) acamamento de raiz. O primeiro é ocasionado pela curvatura ou quebra da base do colmo; o segundo se caracteriza pela rotação do colmo, desde a base, com deslocamento das raízes. No entanto, o acamamento do colmo, ao contrário do que descrevem os autores, pode ocorrer em entrenós acima da base do colmo e, até mesmo, no pedúnculo floral. A avaliação de acamamento mais utilizada em lavouras e experimentos é subjetiva, na qual se indica apenas o percentual de plantas acamadas por meio de observação visual (CRUZ et al., 2001).

O ângulo em que os colmos se inclinam em relação ao solo pode variar no mesmo campo e, muitas vezes, o acamamento não é distribuído uniformemente na área, podendo ocorrer em alguns pontos da lavoura (GRANT, 2022; PINTHUS, 1973). É provável que esse fato possa ser principalmente devido a variabilidade na fertilidade do solo e maior

densidade de semeadura (BERRY et al., 2004). Com o aumento da adubação nitrogenada ocorre o crescimento da planta em estatura a partir do alongamento dos entrenós, ocasionando maior sombreamento entre as plantas, que, por sua vez, receberão menos radiação solar (HEINEMANN et al. 2006; PINTHUS, 1973). Em trigo, constatou-se que cultivares de baixa estatura, que naturalmente têm maior resistência ao acamamento, são mais promissoras para áreas com alta disponibilidade de nitrogênio (OLIVEIRA et al., 2011). Embora o estudo seja focado no trigo, essas observações podem ser extrapoladas para a cevada devido às semelhanças agrônômicas entre essas culturas, ambas pertencentes ao grupo dos cereais de inverno.

Além do cuidado com a adubação nitrogenada, densidade de semeadura e escolha de cultivares, a ocorrência de acamamento na cultura da cevada pode ser minimizada com uso de reguladores de crescimento. Esses produtos, por reduzirem a estatura de planta, são opções para o controle do acamamento na cevada (TIDEMANN et al., 2020; TEIXEIRA; RODRIGUES, 2003), desde que tenham seu uso permitido pelos órgãos governamentais. Dentre eles está o TE. No Brasil, além do Moddus® (ADAPAR, 2024), outros produtos à base de TE estão registrados para uso na cultura da cevada, visando à redução do acamamento. Por exemplo, o trinexapac 250 EC Proventis é recomendado para aplicação foliar em cana-de-açúcar, trigo e cevada, com o objetivo de reduzir o crescimento das plantas e fortalecer os entrenós basais (AGROLINK, 2024). Outro exemplo é o Trix 250®, da Ourofino Agrociência, indicado para evitar o acamamento em cana-de-açúcar, trigo e cevada, reduzindo o crescimento das plantas e promovendo o fortalecimento dos entrenós (OUROFINO AGROCIÊNCIA, 2024). Esses registros refletem a disponibilidade de diferentes marcas comerciais contendo trinexapaque-etílico para uso na cevada no Brasil.

### 2.3 IMPORTÂNCIA DO NITROGÊNIO PARA A CULTURA DA CEVADA

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais essenciais para o crescimento e desenvolvimento da cultura da cevada. Sua importância se deve ao fato de que o N é um componente fundamental de diversas moléculas e processos metabólicos vitais para as plantas (BARBOSA, 2022). O nitrogênio está presente em muitas moléculas fundamentais para a vida da planta, como o ATP (trifosfato de adenosina), o NADPH (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato), o FAD (flavina adenina dinucleotídeo), a clorofila, aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos e diversas enzimas. O nitrogênio está envolvido em várias rotas metabólicas essenciais, incluindo a fotossíntese, onde é necessário para a síntese de clorofila e outras moléculas fotossintéticas, e a respiração celular, onde é utilizado na produção de energia.

Além da fotossíntese e respiração, o N desempenha papéis importantes na multiplicação e diferenciação celular e em outros processos fisiológicos vitais para o crescimento e desenvolvimento da planta (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; ORAL; KENDAL; DOGAN, 2018; PEREIRA, 2022).

Portanto, a disponibilidade adequada de nitrogênio é fundamental para garantir o crescimento saudável e vigoroso da cultura da cevada, bem como para maximizar o rendimento dos grãos e sementes (BARBOSA et al., 2022; JAQUES, 2018; NAKANO, 2019; TANAKA; TEHULIE; ESKEZIA, 2021).

De acordo com Kluge, Tezotto-Uliana e Da Silva (2015), plantas bem supridas com N possuem maior capacidade de assimilação de CO<sub>2</sub> e síntese de carboidratos durante a fotossíntese, influenciando positivamente a divisão celular nos pontos de crescimento da planta, o que resulta no aumento da área foliar com consequente incremento na produção de grãos. Este fato é justificado pela ação do N no crescimento dos tecidos e pela sua ação na diferenciação de gemas vegetativas e reprodutivas, culminando no aumento da produção de grãos em cereais de inverno (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; PEREIRA, 2022).

Aspectos fisiológicos e morfológicos da planta, como o desenvolvimento de folhas, emissão de perfilhos e a capacidade fotossintética podem ser afetados negativamente pela deficiência de N em cevada (NEUMANN et al., 2009). A falta de N pode resultar em morte prematura das folhas, retardando o crescimento das plantas e tornando-se, então, um fator limitante ao rendimento de grãos (MUNDSTOCK, 1983). Dessa maneira, a carência deste nutriente é considerada como fator limitante ao crescimento, desenvolvimento e reprodução das plantas no sistema de produção (MENEHIN et al., 2008). Em cevada, o rendimento de grãos e seus componentes são afetados negativamente pela deficiência de N devido ao seu efeito sobre a produção de biomassa e eficiência no uso da radiação solar (BARBOSA, 2022; PEREIRA, 2022).

Estudos realizados por Jemal (2022) e Klein (2018) revelam que o teor proteico do grão de cevada é diretamente influenciado pela quantidade de nitrogênio (N) absorvido ao longo do ciclo da planta. A relação entre a disponibilidade de N e a qualidade dos grãos de cereais de inverno, como a cevada e a aveia, foi explorada por diversos pesquisadores. Fontana et al. (2016) analisaram como o suprimento de N interfere na síntese de proteínas nos grãos, impactando tanto o peso hectolítrico quanto a qualidade fisiológica das sementes. De maneira similar, Kolchinski e Schuch (2003) observaram que a aplicação de N em diferentes estágios do desenvolvimento das plantas influencia a composição química dos grãos e sementes da aveia branca, afetando sua qualidade. Já Wamser e Mundstock (2007) destacaram que a

disponibilidade de N durante a fase de enchimento dos grãos é crucial para a formação de proteínas de alta qualidade, com reflexos diretos no uso industrial e no valor nutricional da cevada. Essa relação também é reforçada por Carvalho e Nakagawa (2012), que ressaltam que o N, sendo constituinte essencial de biomoléculas na planta, influencia diretamente processos como a germinação e o vigor das sementes. Dessa forma, a quantidade e a disponibilidade de N no solo, bem como sua absorção pelas plantas, têm um impacto significativo na qualidade das sementes produzidas, afetando não apenas o rendimento da cultura, mas também sua capacidade de germinação e desenvolvimento inicial.

### 2.3.1 Adubação Nitrogenada

O manejo adequado do nitrogênio no solo é fundamental para melhorar a eficiência desse nutriente no sistema de cultivo, visando diversos objetivos como redução de custos de produção, proteção ambiental e aumento no rendimento das culturas. Isso é especialmente importante em regiões tropicais e subtropicais, onde as condições climáticas e características do solo podem influenciar significativamente a dinâmica do nitrogênio no ambiente. As inúmeras reações e perdas que ocorrem durante o ciclo do N no solo devido à sua grande mobilidade e instabilidade (TEHULIE; ESKEZIA, 2021; KOLCHINSKI; SCHUCH, 2003), principalmente em regiões tropicais e subtropicais, fazem com que a entrada de N no sistema deva ser realizada de forma criteriosa (CANTARELLA; MARCELINO, 2008).

Os solos brasileiros muitas vezes não conseguem suprir totalmente a demanda de nitrogênio das culturas, incluindo a cevada. Portanto, a complementação com fertilizantes nitrogenados é essencial para garantir que as plantas tenham acesso suficiente a esse nutriente, especialmente quando se busca alcançar elevados rendimentos e qualidade dos grãos ou sementes (TANAKA; NAKANO, 2019; TEIXEIRA FILHO et al., 2010, POLETTO, 2004). A adubação nitrogenada é de fato uma técnica de manejo crucial para a cultura da cevada expressar seu potencial produtivo. A disponibilidade adequada de nitrogênio influencia diretamente o crescimento vegetativo, o desenvolvimento dos grãos e a formação de proteínas nas sementes, todos aspectos essenciais para o rendimento e a qualidade final da colheita (BARBOSA, 2022; JEMAL, 2022; TEIXEIRA; RODRIGUES, 2003). Isso destaca ainda mais a importância da adubação nitrogenada para otimizar o desempenho dessa cultura. A recomendação de adubação nitrogenada parcelada, amplamente descrita na literatura, é considerada uma prática eficaz para melhorar a eficiência no uso desse nutriente. Segundo estudos realizados em solos do estado do Paraná, dividir a aplicação de nitrogênio entre a

semeadura e a cobertura garante uma disponibilidade contínua ao longo do ciclo de crescimento da cultura, além de reduzir perdas por lixiviação e volatilização (FONTANA et al., 2016; TEIXEIRA; RODRIGUES, 2003). Essa abordagem não apenas melhora a absorção do nutriente pelas plantas, mas também contribui para aumentar a produtividade e a qualidade dos grãos em culturas como a cevada.

A fertilização nitrogenada em cobertura na cevada desempenha um papel essencial no rendimento da cultura, influenciando diretamente componentes como o número de espiguetas por espiga, o número de grãos por espiga e a peso hectolítrico (ARAÚJO et al., 2022; BOBRENKO et al., 2021; TEIXEIRA; RODRIGUES, 2003). Estudos apontam que o parcelamento do nitrogênio, com aplicações realizadas em diferentes estágios do ciclo da cultura, pode melhorar o enchimento dos grãos, contribuindo para o aumento do rendimento final. Essa prática também é associada a melhorias na qualidade dos grãos, uma vez que favorece o desenvolvimento uniforme e a formação de sementes mais pesadas (DINIZ, 2007; TEHULIE; ESKEZIA, 2021). Esses resultados são consistentes com a compreensão geral de que o nitrogênio desempenha um papel crucial no desenvolvimento das plantas, especialmente durante estágios críticos, como o período de enchimento de grãos. A aplicação adequada de nitrogênio nesse momento pode fornecer às plantas os nutrientes necessários para maximizar a produção de grãos e, assim, aumentar o rendimento. Portanto, esses achados destacam a importância da gestão adequada da fertilização nitrogenada na produção de cevada, sugerindo que a aplicação parcelada de nitrogênio durante o estágio de desenvolvimento da cultura pode ser uma estratégia eficaz para melhorar o rendimento final da cevada.

A escolha da fonte de nitrogênio na cultura da cevada é crucial para garantir um fornecimento eficiente desse nutriente, maximizando o rendimento da cultura e minimizando os custos de produção. As principais fontes de nitrogênio utilizadas na agricultura, como a ureia (> 44% N), o nitrato de amônio (> 32% N) e o sulfato de amônio (> 20% N) têm diferentes teores de nitrogênio e custos; a escolha entre elas deve levar em consideração diversos fatores, incluindo custo por unidade de nitrogênio, disponibilidade local e características do solo e da cultura (DINIZ, 2007; YANO; TAKAHASHI; WATANABE, 2005).

Como mencionado por Malavolta (2006), a maximização do aproveitamento da adubação nitrogenada envolve uma série de estratégias, incluindo deste modo, doses e épocas adequadas, escolha da fonte mais apropriada às condições do solo e da água, rotação de culturas, entre outros. Essas práticas podem ajudar a reduzir as perdas de nitrogênio e aumentar

a eficiência no uso desse nutriente, contribuindo para um melhor desempenho da cultura da cevada.

### 2.3.2 Época de Aplicação do Nitrogênio

A estratégia de fertilização nitrogenada para a cultura da cevada no Paraná deve ser cuidadosamente planejada, dividindo-se em dois momentos específicos: durante a semeadura e em cobertura durante o estágio de perfilhamento da cultura. Este segundo momento ocorre durante o período que vai desde a emissão da terceira folha até a sétima folha totalmente expandida (BOBRENKO et al., 2021; WAMSER; MUNDSTOCK, 2007). Essa abordagem visa fornecer à planta o nitrogênio necessário em diferentes estágios de seu desenvolvimento, otimizando assim sua absorção e utilização pelo cultivo (LONGNECKER; KIRBY; ROBSON, 1993).

Poletto (2004) trabalhando com a cultura da cevada relata que a aplicação de N em cobertura apresentou sua máxima eficiência quando aplicado no estágio de desenvolvimento inicial, em que os nutrientes são absorvidos mais rapidamente pela planta. Neste sentido, Peruzzo (2000) expõe que o perfilhamento para a cultura do trigo é o período que pode aumentar a eficiência do uso do nutriente pela cultura por meio do incremento no rendimento de grãos. Essas constatações reforçam a necessidade de ajustar a aplicação de nitrogênio de acordo com as demandas específicas de cada cultura e o estágio de desenvolvimento.

A recomendação para a fertilização nitrogenada na cultura da cevada em cobertura está intimamente ligada ao processo de perfilhamento. Essa prática afeta tanto a emissão quanto a sobrevivência de perfilhos, aumentando o número dessas estruturas com doses elevadas de nitrogênio no início desse período. É sabido que a aplicação de nitrogênio em cereais de inverno, antes da expansão dos entrenós, tem efeito no incremento da sobrevivência dos perfilhos já emitidos. Logo, essa estratégia visa otimizar o desenvolvimento da cultura da cevada, promovendo uma melhor formação dos perfilhos e, conseqüentemente, um potencial aumento na produtividade (DINIZ, 2007; POLETTO, 2004). Neste sentido, Mundstock e Bredemeier (2001) observaram que a falta de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura da aveia durante os períodos críticos de perfilhamento e emborrachamento resultou em aumento da mortalidade dos afilhos, o que afetou negativamente o rendimento de grãos. Isso reforça a importância de fornecer nitrogênio adequadamente durante esses estágios de crescimento para

promover o desenvolvimento adequado da planta e, conseqüentemente, melhorar o rendimento da colheita.

A aplicação de nitrogênio no momento adequado é essencial para maximizar a produtividade de grãos na cultura da cevada, pois aplicações em estágios inadequados, como muito precoces ou muito tardias, podem resultar em baixa eficiência na absorção pelas plantas. Estudos realizados com a cevada mostraram que a divisão das doses de nitrogênio em diferentes épocas, como na semeadura, no perfilhamento e na emergência da espiga, evidencia que o perfilhamento é um estágio crítico para o aproveitamento do nutriente (WAMSER; MUNDSTOCK, 2007). Nesse período, o nitrogênio promove o crescimento adequado das plantas, favorece o aumento no número de grãos por espiga e melhora a qualidade fisiológica das sementes produzidas. Assim, o manejo do nitrogênio, com atenção especial ao fornecimento durante o perfilhamento, é decisivo para garantir maior rendimento e sementes de alta qualidade na cevada (BOBRENKO et al., 2021; TEHULIE; ESKEZIA, 2021).

O fornecimento de N na cultura da cevada é de grande importância nos períodos em que o potencial de rendimento está sendo estabelecido. Os componentes de rendimento, como número de espigas por área, número de espiguetas por espiga e grãos por espiga sofrem forte influência pela variação do momento em que o N é fornecido. No período compreendido entre a fase inicial até o início da diferenciação do primórdio floral, a falta de N reduz a formação de espiguetas e a formação de grãos (PEREIRA, 2022; WAMSER; MUNDSTOCK, 2007)

A disponibilização de nitrogênio na cultura da cevada, preferencialmente entre a emergência e a emissão da sétima folha do colmo principal, é crucial para atender às demandas nutricionais em momentos chave do desenvolvimento da planta (BARBOSA, 2022; DINIZ, 2007). No início desse período, há uma forte exigência de nitrogênio para estabelecer o número de espiguetas diferenciadas, o que influencia diretamente o potencial de produção de grãos por espiga. Já na época da emissão da sétima folha, o fornecimento adequado de nitrogênio é crítico para determinar o número de colmos que sobreviverão e produzirão espigas, afetando diretamente o rendimento final da cultura. Essa estratégia visa garantir que as plantas tenham acesso ao nitrogênio necessário nos momentos mais importantes do seu ciclo de crescimento, otimizando assim a produção de cevada (WAMSER; MUNDSTOCK, 2007; EMBRAPA, 2023)

### 2.3.3 Doses de Nitrogênio

Aspectos como a altura das plantas e a fertilidade do solo, são importantes ao se determinar a quantidade de N a ser aplicada em culturas como cevada. Para cultivares de porte alto e/ou para solos férteis, geralmente recomenda-se doses menores de nitrogênio. Isso ocorre porque as plantas em solos férteis tendem a ter acesso a uma quantidade suficiente de nutrientes, incluindo nitrogênio, sem a necessidade de doses excessivas. Além disso, em cultivares de porte alto, doses menores podem ser suficientes para evitar um crescimento excessivo das plantas, o que poderia levar a problemas como acamamento (MUNDSTOCK, 1983; PEREIRA, 2022; TEIXEIRA; RODRIGUES, 2003).

No estado do Paraná, a quantidade de N recomendada para a cultura da cevada varia de 10 a 50 kg ha<sup>-1</sup> na semeadura e de 30 a 90 kg ha<sup>-1</sup> em cobertura, conforme a cultura anterior e a quantidade de matéria orgânica presente no solo (EMBRAPA, 2023). Essas recomendações fornecem uma faixa de doses que podem ser ajustadas de acordo com as condições específicas de cada área de cultivo. No entanto, os ensaios realizados no Sul do Brasil com a cultura da cevada têm mostrado respostas variáveis à adubação nitrogenada, dependendo do local de cultivo e do manejo adotado (POLETTTO, 2024). Essa variabilidade nas respostas pode ser atribuída a uma série de fatores, incluindo diferenças nas características do solo, variações climáticas, práticas de manejo agrícola, cultivares utilizadas e interações complexas entre esses fatores.

Portanto, embora existam recomendações gerais para a adubação nitrogenada na cevada, é fundamental considerar as condições específicas de cada área de cultivo e realizar ensaios locais para determinar as doses mais adequadas de nitrogênio para otimizar o rendimento e a qualidade dos grãos ou sementes. Isso destaca a importância da pesquisa contínua e da adoção de práticas de manejo adaptativas para maximizar o desempenho das culturas em diferentes ambientes agrícolas.

De acordo com Oral, Kendal e Dogan (2018), o uso de doses elevadas de N pode ser um fator positivo para aumentar o rendimento de grãos da cultura de cevada. Isso se deve ao papel crucial do nitrogênio no desenvolvimento das plantas, especialmente durante estágios de crescimento vegetativo e de formação de grãos. No entanto, como apontado por Araújo et al. (2022) e Pereira (2022), o aumento das doses de nitrogênio na cultura da cevada pode resultar em um crescimento excessivo das plantas, levando ao aumento da altura das mesmas. Esse crescimento descontrolado pode contribuir para o fenômeno conhecido como acamamento, onde as plantas se inclinam excessivamente e até mesmo se deitam sobre o solo.

O acamamento pode ter efeitos negativos na produção e na qualidade dos grãos, pois reduz a exposição das espigas à luz solar, prejudicando a fotossíntese e aumentando o risco de doenças e degradação dos grãos.

#### 2.4 REGULADOR DE CRESCIMENTO VEGETAL

O uso de reguladores de crescimento tem sido uma abordagem interessante para minimizar o acamamento em várias culturas como: cevada (*Hordeum vulgare* L) (TIDEMANN et al., 2020; TEIXEIRA; RODRIGUES, 2003), arroz (*Oryza sativa*) (PERON et al., 2019), trigo (*Triticum aestivum*) (PAGLIOSA et al., 2013), aveia (BAZZO et al., 2019) e crotalária (*Crotalaria juncea*) (KAPPES et al., 2012). Esses produtos geralmente agem estimulando ou inibindo a biossíntese ou a atividade de hormônios vegetais, como auxinas, giberelinas e citocininas, que desempenham papéis cruciais no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Os reguladores de crescimento vegetal são compostos químicos utilizados para controlar o crescimento das plantas, podendo inibir ou estimular processos fisiológicos dependendo da sua ação e aplicação. Em gramíneas como cevada, arroz, trigo e aveia, esses reguladores são frequentemente usados para reduzir o crescimento longitudinal da parte aérea. Esse efeito é alcançado pela inibição da atividade das giberelinas, hormônios vegetais que promovem o alongamento celular e o crescimento dos caules. Ao limitar a ação das giberelinas, os reguladores de crescimento diminuem o alongamento dos entrenós nos colmos das gramíneas, resultando em plantas mais compactas e resistentes. Essa capacidade de encurtar os entrenós é especialmente importante para reduzir o risco de acamamento, um problema comum que pode comprometer tanto a colheita quanto a qualidade dos grãos. Assim, o uso de reguladores de crescimento que inibem as giberelinas é uma estratégia eficaz para melhorar a resistência das plantas ao acamamento e, conseqüentemente, o desempenho das culturas (RADEMACHER, 2000; TEIXEIRA; RODRIGUES, 2003).

Os reguladores de crescimento podem ser aplicados diretamente nas plantas e têm a capacidade de alterar o balanço hormonal, influenciando uma variedade de processos vitais e estruturais nas plantas. Portanto, insumos com essas propriedades desempenham um papel crucial na agricultura moderna, permitindo aos agricultores manipular o crescimento e o desenvolvimento das plantas de acordo com suas necessidades específicas (ESPINDULA et al., 2010; FERRARI et al., 2008).

#### 2.4.1 Modo de Ação do Trinexapaque-etílico

No metabolismo da síntese de giberelinas existem substâncias que atuam subdivididas em três classes, agindo na inibição das três etapas de síntese deste composto. A primeira classe inclui compostos como o cloreto de clormequat (CCC), cloreto de mepiquat e AMO-1618, que são amônio quaternário e fosfônio (cloreto de clorfênio). Essas substâncias atuam inibindo a primeira etapa da síntese das giberelinas. A segunda classe é composta por compostos heterocíclicos contendo nitrogênio, como o ancimidol (uma pirimidina), tetciclases (um norbornanodiazetina) e compostos tipo triazol, como o paclobutrazol e uniconazol. Essas substâncias atuam inibindo a segunda etapa da síntese das giberelinas. Por fim, a terceira classe inclui acilciclohexanoedionas, como a prohexadiona-Ca e TE. Estes participam na terceira e última etapa da biossíntese de giberelina, inibindo-a (RADEMACHER, 2000).

Os inibidores de giberelina, como o cloreto de clormequat e o TE, são amplamente utilizados na cultura da cevada para reduzir o tamanho das plantas e controlar o crescimento vegetativo excessivo (TIDEMANN et al., 2020). Produtos formulados com estes princípios ativos têm sido eficazes em várias culturas, incluindo o trigo e a cevada. Estudos, como o de Olumekun (1996), demonstraram resultados positivos na redução da estatura das plantas de trigo quando o cloreto de clormequat foi aplicado. De maneira similar, estudos realizados por Espindula et al. (2009) e Zagonel e Fernandes (2007) apresentaram resultados positivos na redução da altura de plantas de trigo com o uso do TE. Adicionalmente, o TE também mostrou resultados positivos na cultura da cevada, conforme evidenciado pelo estudo de Swoish et al. (2021). Esses resultados destacam a eficácia desses inibidores de giberelina como ferramentas para o manejo do crescimento das plantas, proporcionando benefícios como redução do acamamento, aumento da resistência ao vento e incremento na produção de grãos.

O produto comercial Moddus<sup>®</sup> apresenta em sua formulação 250 g L<sup>-1</sup> de TE (4-ciclopropil (hidróxi) metileno-3,5-dioxociclohexano carboxilato de etila), sendo recomendado para a cultura da cevada como um agente preventivo do acamamento e para a cana-de-açúcar como maturador. O TE é absorvido predominantemente pelas folhas e gemas terminais, sendo a absorção radicular muito limitada. A translocação do TE é relativamente rápida e os sintomas de inibição do crescimento podem ser observados em até 48 horas após a aplicação.

O TE atua nas plantas reduzindo a alongação dos entrenós, pela inibição da enzima 3 $\beta$ -hidroxilase, que é uma enzima chave na rota metabólica final da biossíntese do ácido giberélico (GA). Isso resulta em uma diminuição na produção de GA<sub>1</sub>, que é a forma ativa do

ácido giberélico, enquanto o precursor GA<sub>20</sub> é acumulado (DAVIES, 1987; NAKAYAMA et al., 1990; RAJALA; PELTONEN-SAINIO, 2001). Além de sua ação na biossíntese de giberelinas, o TE também pode bloquear parcialmente o transporte de elétrons na mitocôndria, reduzindo a taxa de respiração celular. Esse efeito secundário pode contribuir para os efeitos de retardamento do crescimento observados nas plantas tratadas com o TE (HECKMAN et al., 2002; TIDEMANN et al., 2020).

A ação combinada desses mecanismos de ação resulta em redução na alongação dos entrenós das plantas, o que leva a um menor crescimento vertical e, conseqüentemente, a uma estatura reduzida das plantas. Essa propriedade torna o TE uma ferramenta valiosa para o controle do crescimento vegetativo em culturas como o trigo, cevada e outras (ADAPAR, 2024), contribuindo para o manejo do acamamento e melhorando a qualidade e o rendimento da cultura.

#### 2.4.2 Doses e Época de Aplicação de Trinexapaque-etílico

Recomenda-se o TE para cultivares de cevada que são suscetíveis ao acamamento, especialmente em solos de alta fertilidade. Nessas condições, as plantas tendem a apresentar um crescimento vegetativo mais vigoroso, o que aumenta o risco de acamamento. No entanto, é importante observar que o TE pode não ser indicado em situações de deficiência hídrica na fase inicial do desenvolvimento da cultura. Isso porque o TE pode reduzir a taxa de crescimento das plantas, o que pode ser contraproducente em condições de estresse hídrico, onde as plantas já podem estar sofrendo limitações no crescimento devido à falta de água. Nesse caso, é essencial priorizar práticas de manejo que visem garantir a disponibilidade adequada de água para as plantas. A época de aplicação recomendada do produto Moddus® (trinexapaque-etílico) é na fase de alongação da cultura, quando o primeiro nó é visível, com uma dose de 0,4 a 0,5 L/ha. Considerando que o Moddus® contém 250 g/L do ingrediente ativo trinexapaque-etílico, essas doses correspondem a 100 g/ha e 125 g/ha do ingrediente ativo, respectivamente (ADAPAR, 2024).

A época de aplicação do TE é um fator crítico para garantir sua eficácia e minimizar quaisquer efeitos adversos sobre o desenvolvimento e a produtividade da cultura (TIDEMANN et al., 2020; ZAGONEL; FERNANDES, 2007). Se o TE for aplicado muito cedo, em estágio anterior ao recomendado (primeiro e o segundo nó perceptíveis), pode não ter efeito significativo na redução da altura das plantas. Isso ocorre porque, nesses estágios, os entrenós já são naturalmente curtos e, portanto, não há muito alongamento para ser inibido. Portanto,

aplicar o TE muito cedo pode resultar em uso desnecessário do produto e desperdício de recursos. Por outro lado, se o TE for aplicado tarde demais, quando a planta já estiver em estágio avançado de desenvolvimento, o espigamento pode ser afetado negativamente e, conseqüentemente, a produtividade de grãos. Isso ocorre porque as aplicações tardias têm efeito mais pronunciado nos entrenós superiores e mais longos, como o pedúnculo, o que pode levar a um atraso no espigamento e comprometer a formação dos grãos (RODRIGUES et al., 2003; ZAGONEL; FERNANDES, 2007).

Embora o TE possa ser eficaz para controlar o crescimento vegetativo e reduzir o acamamento em várias culturas, é essencial considerar as características específicas de cada cultivar e as condições de crescimento para otimizar sua eficácia. Cultivares podem responder de maneira distinta à dose e época de aplicação do regulador de crescimento. Alguns genótipos podem ser mais sensíveis aos efeitos do TE, enquanto outros podem exigir doses mais altas para alcançar os mesmos resultados. Além disso, o estágio de desenvolvimento da cultura no momento da aplicação também pode influenciar a resposta ao tratamento. Para cultivares de trigo com alta resistência ao acamamento, como mencionado pelo estudo de Zagonel e Fernandes (2007), pode ser necessário ajustar a dose e época de aplicação do TE para garantir uma redução eficaz na altura das plantas, sem comprometer a resistência estrutural delas.

Com relação à dosagem a ser aplicada na cultura da cevada, Swoish et al. (2021) constataram que as doses de TE mais efetivas para a redução da estatura das plantas são de 100 a 150 g ha<sup>-1</sup>. Isso sugere que, dentro desse intervalo de dosagem, houve uma resposta consistente na redução do crescimento vertical das plantas, o que pode ser crucial para o controle do acamamento e o aumento da estabilidade das plantas. Essa faixa de dosagem pode representar um equilíbrio entre a redução eficaz do crescimento vegetativo e a minimização de efeitos adversos, como atraso no espigamento ou redução na produtividade dos grãos. No entanto, é importante ressaltar que a eficácia da dosagem pode variar dependendo de fatores como as condições de crescimento, a variedade de cevada utilizada e as práticas agronômicas adotadas. Portanto, ao aplicar o TE na cultura da cevada, é recomendável considerar os resultados específicos dos estudos de Swoish et al. (2021) que trabalhando com a dose de 125 g ha<sup>-1</sup> de tinexapac-ethyl observou redução significativa no acamamento das plantas de cevada. Por fim, Subedi et al. (2021) observaram que em comparação com o controle, a aplicação de TE na dose 125 g ha<sup>-1</sup> foi efetiva em aumentar o rendimento de grãos em 3–8%, reduzir a altura das plantas em 5–10% e encurtar o comprimento dos entrenós.

Portanto, ao usar reguladores de crescimento na agricultura, é importante

realizar testes a campo para determinar a resposta específica de cada cultivar ao tratamento, ajustando a dose e época de aplicação conforme necessário. Essa abordagem personalizada pode ajudar a maximizar os benefícios dos reguladores de crescimento, garantindo um controle eficaz do crescimento vegetativo e melhorando o desempenho da cultura no campo.

## 2.5 COMPONENTES DE RENDIMENTO DE GRÃOS E SEMENTES

O avanço proporcionado pelos programas de melhoramento genético na cultura da cevada é notável. Esses programas não apenas aumentaram significativamente o rendimento de grãos, mas também transformaram o cenário produtivo dessa cultura. Com novas cultivares adaptadas a diferentes ambientes de cultivo e a incorporação de práticas tecnificadas de manejo, a produtividade tem mostrado melhorias consistentes e significativas. (SANCHES, et al. 2015; MINELLA, 2017). Entretanto, é essencial reconhecer que diversos fatores influenciam o rendimento das culturas. Não se trata apenas de desenvolver novas variedades, mas também de entender profundamente os componentes que contribuem para esse rendimento. Isso inclui aspectos genéticos, ambientais e de manejo. Portanto, para sustentar e até mesmo aumentar os níveis de produtividade alcançados, é fundamental que os programas de melhoramento continuem a se basear no estudo detalhado dos componentes de rendimento. Além disso, é necessário implementar práticas de manejo adequadas que otimizem o desempenho das variedades desenvolvidas.

Em suma, o sucesso contínuo no aumento da produtividade da cevada dependerá da combinação de avanços genéticos com práticas de manejo eficazes, ambos fundamentados em uma compreensão sólida dos fatores que influenciam o rendimento da cultura.

De acordo com Pereira (2022), várias características da planta são fundamentais para a definição do seu potencial produtivo, consequentemente, do rendimento de grãos, partindo desde a estatura média da planta, ciclo de desenvolvimento, componentes diretos e indiretos do rendimento de grãos, até seu comportamento frente a estresses bióticos e abióticos. O mesmo autor cita que características como número de afixos férteis por área, número de grãos por espigas e massa média de grãos definem os componentes diretos do rendimento de grãos na cultura da cevada.

A produtividade de grãos é uma característica complexa e multifatorial que é controlada por muitos genes, resultando em uma herança quantitativa. Isso significa que, em

vez de seguir padrões simples de herança hereditária, como os traços controlados por um único gene (herança qualitativa), a produtividade de grãos é influenciada por múltiplos genes, bem como por fatores ambientais. Os componentes de rendimento de grãos, como mencionado anteriormente, são fundamentais para determinar a produtividade final. Esses componentes incluem o número de afilhos férteis por área, número de grãos por espiga, massa média de grãos, entre outros. Cada um desses componentes pode ser influenciado por fatores genéticos da cultivar (como os genes relacionados ao desenvolvimento da planta e à formação de grãos) e pelo ambiente (como temperatura, umidade, disponibilidade de nutrientes, pragas e doenças). A nutrição, em particular, desempenha um papel crucial no desenvolvimento e na produtividade das culturas, incluindo a cevada. A disponibilidade adequada de nutrientes essenciais, como nitrogênio, pode impactar diretamente a formação de grãos e outros componentes de rendimento (ARAÚJO et al., 2022; ORAL; KENDAL; DOGAN, 2018; TEHULIE; ESKEZIA, 2021). Por exemplo, a deficiência de nitrogênio pode resultar em afilhos insuficientes e menor número de grãos por espiga, afetando negativamente a produtividade final da cultura (BARBOSA, 2022; NEUMANN et al., 2009; PEREIRA, 2022;).

Portanto, entender a interação entre os fatores genéticos da cultivar, o ambiente e a nutrição são cruciais para otimizar a produtividade de grãos da cevada e de outras culturas agrícolas. Isso geralmente requer uma abordagem integrada que considere tanto os aspectos genéticos quanto as práticas do manejo agrícola.

É interessante observar que, embora o TE seja principalmente utilizado para reduzir o acamamento de plantas na cultura da cevada, ou seja, para evitar que as plantas se dobrem ou se deitem excessivamente, alguns estudos têm indicado que ele pode ter efeitos positivos adicionais na produtividade das culturas (AMABILE et al., 2004; BORSATO; PENCKOWSKI; KUFF, 2023; SWOISH et al., 2021). Esses efeitos podem estar relacionados a uma série de fatores, como a regulação do crescimento vegetal, a melhoria na eficiência do uso de nutrientes, a redução de perdas por quebra de colmos e a otimização da distribuição de energia nas plantas. Tudo isso revela a complexidade das interações entre os reguladores de crescimento e as plantas, e sugere que o TE pode ter um papel mais amplo no aumento da produtividade agrícola do que simplesmente prevenir o acamamento. No entanto, é importante ressaltar que os efeitos do TE podem variar dependendo da cultura, das condições de crescimento e do manejo agrônomico, e mais pesquisas são necessárias para entender completamente seus efeitos e otimizar sua aplicação.

Cultivares de porte médio e baixo podem não ser tão responsivas ao TE quanto as cultivares de porte alto, mas ainda podem se beneficiar significativamente da sua

aplicação (BORSATO; PENCKOWSKI; KUFF, 2023). Isso ocorre porque o TE pode melhorar a arquitetura foliar das plantas, o que resulta em uma melhor captura da radiação solar, um fator crucial para a fotossíntese e, conseqüentemente, para a produção de grãos. Além disso, o TE pode estimular o desenvolvimento de perfilhos férteis, ou seja, novos ramos que podem produzir grãos, aumentando assim o potencial de rendimento da cultura. Ele também pode ajudar na redistribuição dos fotoassimilados (os produtos da fotossíntese) das folhas para os grãos, em detrimento do desenvolvimento do colmo. Isso significa que mais energia e nutrientes são direcionados para a formação e enchimento dos grãos, o que pode levar a um aumento na produtividade final (BAZZO et al., 2019; Mc MILLAN et al., 2020; TIDEMANN et al., 2020).

Portanto, mesmo que as cultivares de porte médio e baixo possam não ter uma resposta tão pronunciada ao TE quanto as cultivares de porte alto, ainda há potencial para maximizar a produtividade de grãos através da melhoria da arquitetura da planta e da alocação eficiente de recursos.

Alterações nos componentes de rendimento para cereais de inverno com a utilização do TE são relatadas por alguns autores. Miziniak, Matysiak e Kaczmarek (2017) trabalhando com cevada de primavera concluíram que o TE impactou positivamente o número de grãos por espiga e o rendimento de grãos. Isso sugere que o regulador de crescimento pode promover uma maior eficiência na formação e enchimento dos grãos, resultando em um aumento da produção final. Bazzo et al. (2019), trabalhando com cultivares de aveia branca granífera em dois ambientes de cultivo, concluíram que a aplicação de TE na dose de 125 g ha<sup>-1</sup>, entre o 1º e o 2º nó detectável, aumentou o número de panículas por metro quadrado e a produtividade de grãos, embora tenha reduzido o número de grãos por panícula. O termo "nó detectável" refere-se à identificação dos nós no caule da planta por meio do toque dos dedos, ao deslizar a mão suavemente ao longo do colmo para sentir o estágio de desenvolvimento. Penckowski (2006) observou resultados semelhantes na cultura do trigo, destacando que a aplicação de TE, especialmente entre o 1º e o 2º nó visível ou entre o 2º e o 3º nó visível, promoveu um aumento significativo no número de espiguetas e na produtividade de grãos. O "nó visível" é aquele que pode ser visualmente identificado no colmo, geralmente em estágios mais avançados de alongamento das plantas. Esses achados sugerem que o TE influencia positivamente a arquitetura das plantas, aumentando a eficiência no uso de energia e resultando em maior produção de grãos.

Em resumo, esses estudos demonstram que o TE pode ter efeitos positivos em vários componentes de rendimento em cereais de inverno, contribuindo para aumentar a produtividade final da cultura. No entanto, é importante considerar que os resultados podem

variar dependendo das condições específicas de cultivo e das características da cultivar utilizada. Visto isso, uma das funções relatadas do TE é retardar o desenvolvimento vegetativo das plantas, o que pode ser benéfico em certas circunstâncias de cultivo. De acordo com a bula do produto Trinexapac 250 EC Proventis, a aplicação do regulador reduz o porte das plantas ao limitar o crescimento vegetativo, promovendo maior resistência ao acamamento (AGROLINK, 2024). De forma similar, a bula do Trix 250® descreve que o TE atua inibindo temporariamente o alongamento dos caules por meio da redução do nível de giberelina ativa, sem comprometer a fotossíntese ou a integridade da gema apical (OUROFINO AGROCIÊNCIA, 2024). Kupke et al. (2022) observaram que o inibidor de GA<sub>1</sub> TE foi capaz de atrasar o florescimento em cultivares de cevada geneticamente divergentes em até 200 graus-dia sob condições controladas. Um atraso semelhante na floração poderia ser conseguido através da aplicação tanto na fase inicial (GS13) como na tardia (GS33), com taxas mais elevadas atrasando ainda mais a floração. Notavelmente, o TE foi capaz de prolongar a duração das fases de desenvolvimento pré-antese. Resultados semelhantes foram observados por Camera (2022), na cultura da aveia, onde o uso de regulador de crescimento aumentou o número de dias da emergência ao florescimento, sendo observado efeito dose-resposta para o atraso no florescimento.

Esses resultados sugerem que o TE e reguladores de crescimento similares têm o potencial de serem utilizados para modular o tempo de florescimento em cereais, o que pode ter implicações importantes para o manejo de cultivos e a adaptação às condições ambientais.

Embora seja possível aumentar individualmente cada um dos componentes que contribuem para o rendimento de grãos, como o número de afilhos, o número de grãos por espiga e o peso dos grãos, fenômenos compensatórios frequentemente ocorrem, levando a uma relação negativa entre esses componentes. Isso significa que o aumento de um componente pode resultar na redução de outro. Essa relação compensatória torna desafiador estabelecer uma combinação ótima dos diversos componentes para alcançar um determinado rendimento de grãos. Como resultado, diferentes caminhos podem levar ao mesmo rendimento final, e encontrar a melhor estratégia de manejo pode ser complexo. É por isso que é essencial considerar todas as variáveis envolvidas no processo de produção, incluindo fatores genéticos, ambientais e de manejo. Além disso, é crucial inserir a matriz ambiental em todo o processo decisório, levando em conta as condições específicas do solo, clima e outras variáveis locais que podem influenciar o desempenho da cultura (AMARILHO-SILVEIRA; BRONDANI; LEMES, 2015; MUT et al., 2023). A busca pela melhor resposta biológica não deve se limitar

à maximização do uso dos diversos fatores de produção, mas sim ao equilíbrio entre eles. Isso significa encontrar o ponto ideal em que cada componente contribui para o rendimento final de forma eficiente e sustentável, levando em consideração não apenas a produtividade, mas também aspectos como qualidade dos grãos e uso eficiente de recursos.

## 2.6 QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES

A qualidade fisiológica das sementes é crucial para o sucesso da cultura agrícola. A germinação, o vigor e a longevidade das sementes são aspectos fundamentais que influenciam diretamente o estabelecimento e o desenvolvimento das plantas no campo (GOERGEN et al., 2018). A germinação refere-se à capacidade da semente de iniciar o crescimento e desenvolvimento de uma nova planta. Uma alta taxa de germinação é essencial para garantir um estande adequado de plantas no campo (HOSSEN et al., 2014). Já o vigor é a capacidade das sementes germinadas de emergir do solo e estabelecer plântulas vigorosas e saudáveis. Sementes com alto vigor tendem a produzir plantas mais robustas, que podem resistir melhor a condições adversas, como seca, doenças e pragas (MARCOS FILHO, 1999). Por fim, longevidade refere-se à capacidade das sementes de permanecerem viáveis ao longo do tempo. Sementes com alta longevidade pode ser armazenadas por períodos mais longos sem perderem sua capacidade de germinação e vigor (LUDWIG et al., 2009). Portanto, a qualidade fisiológica das sementes é um aspecto crucial a ser considerado pelos agricultores para garantir o sucesso da produção agrícola.

Outro fator que pode interferir na qualidade fisiológica das sementes é a disponibilidade de nutrientes para as plantas, pois os nutrientes disponíveis no solo afetam diretamente a composição química das sementes. A deficiência de certos nutrientes pode resultar em sementes com menor teor de proteínas, lipídios, vitaminas e minerais essenciais, afetando assim sua qualidade fisiológica. Portanto, garantir adequada disponibilidade de nutrientes para as plantas é essencial para maximizar a qualidade das sementes e, conseqüentemente, o sucesso da produção agrícola (Mc MILLAN et al., 2020; SÁ, 1994).

A disponibilidade de nitrogênio (N) pode ter um impacto significativo na qualidade das sementes de cevada (ARAÚJO et al., 2022). O nitrogênio é um componente fundamental de muitas biomoléculas essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, incluindo proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos (DNA e RNA) e clorofila. Logo, a deficiência de N pode resultar em sementes com baixo teor de proteínas e outros compostos nitrogenados essenciais, afetando sua qualidade fisiológica. A quantidade de N absorvida pela

planta ao longo de seu ciclo de vida desempenha um papel crucial na determinação do teor proteico dos grãos ou sementes produzidos. Isso ocorre porque o N é um componente fundamental das proteínas, que por sua vez são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, bem como para a qualidade nutricional dos grãos produzidos (BARBOSA et al., 2022; PEREIRA, 2022)

Os avanços no entendimento da relação entre a aplicação de N e a qualidade de sementes da cevada têm sido significativos. Boero et al. (2022) investigaram a aplicação de N na antese em três locais comerciais na Argentina, utilizando doses de 20 kg ha<sup>-1</sup> e 40 kg ha<sup>-1</sup>, e observaram um aumento no teor de proteína das sementes sem afetar a senescência das folhas. Jemal (2022) avaliou a resposta do rendimento e a qualidade das sementes de cevada a diferentes doses de fertilização nitrogenada (0 kg ha<sup>-1</sup>, 50 kg ha<sup>-1</sup>, 100 kg ha<sup>-1</sup> e 150 kg ha<sup>-1</sup>) em três variedades de cevada (Traveler, Ibon e Local), concluindo que a aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N resultou no maior rendimento e qualidade das sementes. Klein (2018) estudou a eficiência nutricional de nitrogênio e o teor de aminoácidos e proteína em 18 genótipos de cevada cultivados com doses de 30 kg ha<sup>-1</sup> e 95 kg ha<sup>-1</sup>, destacando as cultivares BRS Brau, Cauê e Korbel, e as linhagens F e G como as mais responsivas ao N, quanto a qualidade de sementes. O estudo de Prazeres et al. (2016), realizado com milho, também revela que o teor de proteína nas sementes afeta sua germinação, mostrando que um teor proteico elevado pode comprometer o vigor das sementes, o que tem implicações relevantes para a cevada, pois sugere que o controle adequado da fertilização nitrogenada é essencial para garantir a qualidade da semente e o bom desempenho da germinação.

De acordo com Carvalho e Nakagawa (2012), a adubação nitrogenada pode influenciar o desempenho fisiológico da semente, contudo os seus efeitos variam de acordo com a espécie, condições ambientais, bem como com o estágio de desenvolvimento da planta em que ocorre a aplicação do fertilizante. Além desses fatores, Zucareli et al. (2012) relatam que a qualidade fisiológica das sementes dos materiais genéticos responde diferentemente a diferentes doses de N. Neste sentido, Fonseca, Troyjack e Roberto (2018), ao avaliarem o efeito de diferentes níveis de N sobre a qualidade fisiológica de sementes de cevada, observaram que as sementes de todas as variedades apresentaram alta qualidade fisiológica quando cultivadas em altos níveis de N. Contudo, quando em nível baixo de N, observaram qualidade de sementes diferenciada entre as variedades. Por fim, Edney et al. (2012;), também trabalhando com a cevada, observaram que para alguns materiais, o aumento da adubação nitrogenada propicia aumento no teor de proteína, consequentemente melhorando o vigor das sementes.

Esses resultados ressaltam a importância de avaliar cuidadosamente os efeitos da adubação nitrogenada em diferentes condições e materiais genéticos, a fim de tomar decisões de manejo adequadas para garantir a produção de sementes de alta qualidade. Isso pode envolver ajustes nas práticas de adubação, considerando as necessidades específicas de cada cultura e variedade, bem como as condições ambientais locais.

O comportamento das sementes, incluindo seu desempenho fisiológico, é fortemente influenciado pelo genótipo das plantas que as produzem. Dentro de uma mesma espécie, diferentes cultivares podem apresentar variações significativas em relação ao desempenho fisiológico de suas sementes. Essas diferenças podem ser atribuídas a características genéticas específicas de cada cultivar, bem como a características morfofisiológicas que são determinadas pelo genótipo. Algumas cultivares podem ser geneticamente predispostas a produzir sementes com melhor vigor, germinação e longevidade, enquanto outras podem ser menos eficientes nesse aspecto. Além disso, as características morfofisiológicas das plantas, como tamanho e tipo de semente, taxa de produção de biomassa, e resistência a estresses ambientais, também podem influenciar o desempenho fisiológico das sementes. Por exemplo, cultivares que são mais resistentes a condições climáticas adversas durante o período de formação das sementes podem produzir sementes com maior qualidade fisiológica (MARCOS FILHO, 2005; VIEIRA et al., 1998). Portanto, o desenvolvimento e a seleção de cultivares com melhor desempenho fisiológico das sementes são objetivos importantes na pesquisa e no melhoramento genético de plantas, visando aumentar a produtividade e a sustentabilidade da agricultura.

Além do genótipo, o ambiente de cultivo desempenha um papel crucial no crescimento e desenvolvimento das sementes, influenciando diretamente seu potencial fisiológico. As condições climáticas durante o período de maturação das plantas podem ter um impacto significativo na formação e na qualidade das sementes produzidas (COSTA et al., 2005). Portanto, tanto o genótipo das plantas quanto o ambiente de cultivo interagem para determinar o potencial fisiológico das sementes produzidas. É importante considerar esses fatores ao selecionar cultivares e ao implementar práticas de manejo agrícola, a fim de garantir a produção de sementes com qualidade superior.

Para Motta et al. (2002), a qualidade das sementes é influenciada por uma série de fatores ambientais, incluindo locais e épocas de cultivo. As condições climáticas, como temperatura, umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica e fotoperíodo variam significativamente com a estação do ano e com a latitude das regiões, e essas variações podem ter um impacto direto no desempenho produtivo das cultivares e na qualidade das sementes

produzidas. Entender como as condições ambientais dos locais de cultivo interagem com as características das cultivares é fundamental para selecionar as melhores práticas de manejo e maximizar tanto a qualidade das sementes quanto os níveis de produtividade. Isso envolve a escolha adequada de cultivares adaptadas às condições locais e o ajuste das práticas de cultivo conforme as variações sazonais e geográficas (MARQUES et al., 2011).

Quando o cultivo da cevada é realizado sob altas densidades de semeadura e com elevadas doses de nitrogênio, problemas como o acamamento das plantas são frequentes, o que interfere negativamente na produção e na qualidade fisiológica das sementes (EDNEY et al., 2012; PEREIRA, 2022; SUBEDI et al., 2021). Portanto, é importante encontrar um equilíbrio adequado entre a densidade de plantio e as doses de nitrogênio aplicadas, levando em consideração as características da cultivar, as condições de crescimento e as práticas de manejo, a fim de minimizar o risco de acamamento e maximizar tanto a produção quanto a qualidade das sementes. Isso pode envolver a seleção de cultivares mais tolerantes ao acamamento, o uso de práticas de manejo específicas e a implementação de medidas preventivas para reduzir os riscos associados a esse problema. Quando as plantas de cevada estão acamadas, isso pode afetar a fotossíntese, a absorção de nutrientes e a translocação de nutrientes para as sementes em desenvolvimento. Isso pode resultar em uma diminuição na qualidade das sementes, incluindo uma redução na concentração de proteínas, que está relacionada diretamente com o vigor das mesmas. O'Donovan et al. (2012), ao estudarem o efeito de densidade de semeadura na cultura da cevada no Canadá, observaram que o acamamento interferiu negativamente na concentração de proteínas nas sementes de cevada.

Nesse contexto, tornou-se prática comum na agricultura para o controle do acamamento e para melhorar a estabilidade das plantas, especialmente em cultivos de cereais como a cevada o uso de reguladores de crescimento (TEIXEIRA; RODRIGUES, 2003). O uso desses reguladores de crescimento pode ajudar a reduzir os riscos de acamamento, melhorar a estabilidade das plantas e aumentar a eficiência da colheita, podendo se revelar como uma importante estratégia para contornar esse problema e favorecer a obtenção de sementes com elevada qualidade fisiológica (Mc MILLAN et al., 2020; TIDEMANN et al., 2020).

Além de serem utilizados com o intuito de reduzir a estatura e o acamamento das espécies cultivadas, os reguladores de crescimento são aplicados visando a modificação na arquitetura da planta, especialmente da folha bandeira, que fica mais ereta, aumentando o aproveitamento dos recursos do meio, especialmente a radiação solar. Portanto, o uso estratégico de reguladores de crescimento pode não apenas reduzir problemas como o acamamento, mas também otimizar a arquitetura das plantas para melhorar o aproveitamento

dos recursos ambientais, contribuindo assim para o aumento da produtividade e da qualidade das sementes (BAZZO et al., 2019; Mc MILLAN et al., 2020; SUBEDI et al., 2021; TIDEMANN et al., 2020).

Kaspary et al. (2015), ao estudarem o efeito de diferentes doses de TE sob plantas de aveia branca, mostraram que a massa de mil sementes em doses de 150 g ha<sup>-1</sup> foi equivalente à da testemunha testada. Por outro lado, Subedi et al. (2021) também avaliando a massa de mil sementes de três cultivares de cevada observaram redução dessa característica comparado ao controle, porém não observaram diferença significativa para qualidade e peso de proteína na semente, o que indica que o TE pode não ter um efeito consistente na qualidade das sementes em todas as cultivares. Ainda para a cultura da cevada com a utilização do TE, Mc Millan et al. (2020), observaram efeitos positivos na qualidade fisiológica de sementes. Por fim, Bazzo et al. (2018) observaram que aplicação do TE reduz o vigor de sementes das cultivares de aveia branca IPR Afrodite e IPR Artemis produzidas em Londrina e Mauá da Serra, respectivamente.

Esses resultados destacam a importância de considerar diversos fatores, como dose do regulador de crescimento, cultivar, condições ambientais e práticas de manejo, ao avaliar os efeitos dos reguladores de crescimento na produção e na qualidade das sementes. Além disso, ressaltam a necessidade de mais pesquisas para entender melhor os efeitos dos reguladores de crescimento e desenvolver estratégias de uso mais eficazes e consistentes na produção de sementes de cereais.

Desta forma, o uso correto das tecnologias disponíveis é fundamental para melhorar a produção e a produtividade de grãos de cevada no Brasil. Como a cevada não é tradicionalmente uma cultura de grande destaque na agricultura brasileira, é ainda mais importante aproveitar ao máximo todas as ferramentas e conhecimentos disponíveis para aumentar tanto a qualidade das sementes quanto dos grãos produzidos no país. Além disso, a pesquisa contínua e o desenvolvimento de novas tecnologias e práticas agrícolas específicas para a produção de cevada no Brasil são essenciais para impulsionar a competitividade e a sustentabilidade dessa cultura no país. Isso pode incluir o desenvolvimento de cultivares com características específicas de qualidade de grãos e sementes, aprimoramento de técnicas de manejo integrado de pragas e doenças, e adaptação de práticas agrícolas às condições climáticas e de solo locais.

Portanto, a realização de mais estudos nessa área é crucial para desenvolver recomendações de adubação específicas para a produção de sementes de cevada, visando não apenas aumentar a produtividade, mas também garantir a qualidade fisiológica das sementes

produzidas. Isso pode contribuir significativamente para o desenvolvimento sustentável da produção de cevada no Brasil e para o fornecimento de sementes de alta qualidade para os agricultores.

## 2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A REDE. **Maltaria de PG projeta dobrar produção para ganhar mercado mundial**. In: A REDE, 06 jun. 2024. Disponível em: <https://arede.info/ponta-grossa/524160/maltaria-de-pg-projeta-dobrar-producao-para-ganhar-mercado-mundial>. Acesso em: 17 jan. 2025.

ADAPAR - AGÊNCIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO PARANÁ. **Agrotóxicos no Paraná**. In: ADAPAR, 2024. Disponível em: <http://celepar07web.pr.gov.br/agrotoxicos/pesquisar.asp>. Acesso em: 08 set. 2024.

AGROLINK. **Trinexapac 250 EC Proventis**. In: AGROLINK, 2025. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/produto/trinexapac-250-ec-proventis\\_12157.html](https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/produto/trinexapac-250-ec-proventis_12157.html). Acesso em: 17 jan. 2025.

AGUIAR, N.; MARQUES, T. G.; CANTOS, P. L.; SILVA, R. D.; MARTINS, F. S.; SOARES, L. C.; FONSECA, S. D. Avaliação da resistência ao acamamento em populações segregantes de aveia branca (*Avena sativa* L.). In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 5º Semana Integrada, 28., 2019, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2019. Disponível em: [https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2019/CA\\_01513.pdf](https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2019/CA_01513.pdf). Acesso em: 17 jan. 2025.

AMABILE, R. F.; MINELLA, E.; VALENTE, C. M. W.; DA SERRA, D. D. **Efeito do regulador de crescimento trinexapac-etil em cevada cervejeira irrigada em áreas de Cerrado do Distrito Federal**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, EMBRAPA, Planaltina, DF, 2004.

AMARILHO-SILVEIRA, F.; BRONDANI, W. C.; LEMES, J. S. Lã: Características e fatores de produção. **Archivos de Zootecnia**, v. 64, n. 247, p. 13-24, 2015.

ARAÚJO, B. O. N.; ZULLI, F. S.; BORGES, E. G.; MONTEIRO, M. A.; ROLIM, J. M.; MEDEIROS, L. B.; AUMONDE, T. Z. Growth and physiological performance of barley plants produced under nitrogen management. **Ingeniería e Investigación**, v. 4, n. 2, p. 89-116, 2022.

BAIK, B. K.; ULLRICH, S.E. Barley for food: characteristics, improvement, and renewed interest. **Journal of Cereal Science**. v. 48, p. 233-242, 2008.

BARBIERI, R. L. **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF, p. 289-310, 2008.

BARBOSA, B. S.; MEDEIROS, L. B.; DA SILVA, F. L.; FONSECA, L. L.; MARTINAZZO, E. G.; CARLOS, F. S.; PEDÓ, T. Doses de nitrogênio em cevada: rendimento e qualidade de sementes. **Revista Thema**, v. 21, n. 2, p. 402-414, 2022.

- BAZZO, J. H. B.; BARBOSA A. P.; CARDOSO, C. P.; ZUCARELI, C.; FONSECA, I. C. B. Physiological quality of seeds of white oat cultivars in response to trinexapac-ethyl application. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 49, n. 4, p. 636-643, 2018.
- BAZZO, J. H. B.; RIEDE, C. R.; ARRUDA, K. M. A.; CARDOSO, C. P.; FRANZONI, I.; FONSECA, I. C. B.; ZUCARELI, C. Performance of white oat cultivars in response to nitrogen fertilization and trinexapac-ethyl. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 5, p. 2121-2136, 2019.
- BELETI, M. A.; DUARTE, F.; GEORG-KRAEMER, J. E. A temperatura no desenvolvimento da atividade das enzimas (1-3, 1-4)- $\beta$ -glucanases e degradação de  $\beta$ -glucanos durante a malteação. **Ciência Rural**, v. 42, n. 3, p. 467-473, 2012.
- BERRY, P. M.; STERLING, M.; BAKER, C. J.; SPINK, J.; SPARKES, D. L. A calibrated modelo of wheat lodging compared with field measurements. **Agricultural and Florest Meteorology**, v. 119, n. 3-4, p. 167-180, 2003.
- BERRY, P. M.; STERLING, M.; SPINK, J. H.; BAKER, C. J.; SYLVESTER- BRADLEY, R.; MOONEY, S. J.; TAMS, A. R.; ENNOS, A. R. Understanding and reducing lodging in cereals. **Advances in Agronomy**, v. 84, n. 4, p. 217-271, 2004.
- BOBRENKO, I. A.; KORMIN, V. P.; GOMAN, N. V.; POPOVA, V. I.; BOLDYSHEVA, E. P. Effective use of various forms of nitrogen fertilizers in barley cultivation. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. v. 845, n. 1, p. 012016, 2021.
- BOERO, J. J.; BOEM, F. G.; PRYSTUPA, P.; VELIZ, C. G.; CRIADO, M. V.; GÓMEZ, F. M.; CAPUTO, C. Nitrogen application at anthesis increases barley grain protein by enhancing phloem amino acid mobilisation. **Crop and Pasture Science**, v. 74, n. 4, p. 312-323, 2022.
- BORSATO, E. F.; PENCKOWSKI, L. H.; KUFF, W. **Reguladores de crescimento em cereais de inverno com uso para forragem**. In: Fundação ABC, 25 jul. 2023. Disponível em: <https://fundacaoabc.org/2023/07/25/reguladores-de-crescimento-em-cereais-de-inverno-com-uso-para-forragem/>. Acesso em: 19 mai. 2024.
- BOTHMER, R. V.; JACOBSEN, N. **Melhoramento de Cevada**. In: BORÉM, A. Melhoramento de plantas. Viçosa: UFV, p. 253-270, 1998.
- BOTHMER, R. V.; JACOBSEN, N.; BADEN, C.; BAGGER JORGENSEN, R.; LINDE-LAURSEN, I. **An ecogeographical study of the genus Hordeum**. IBPGR. Systematic and ecogeographic studies on crop gene pools, v.7, 1991.
- BROWN, T. A.; JONES, M. K.; POWEL, W.; ALLABY, R. G. The complex origins of domesticated crops in the Fertile Crescent. **Trends in Ecology e Evolution**, v. 24, n. 7, p. 103-109, 2009.
- CAIERÃO, E. Cevada. In: BARBIERI, R. L. **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF. p. 289-310, 2008.
- CAMERA, D. O. **Trinexapac-ethyl in hexaploid oat: effects on plant morphology, lodging, yield, and grain quality**. 2022. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2022.
- CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. In: FANCELLI, A. L. **Milho: nutrição e adubação**. Piracicaba: ESALQ/ USP/LPV, 2008. p. 6-55.

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

COMEX STAT. **estatísticas de comércio exterior**. In: COMEX STAT, 01 jan. 2025. Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br>. Acesso em: 25 jan. 2025.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas das safras: cevada**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 15 jan. 2025.

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

CRUZ, P. J.; CARVALHO, F. I. F. de; CAETANO, V. da R.; SILVA, S. A.; KUREK, A. J.; BARBIERI, R. L. Caracteres associados com a resistência ao acamamento em trigo comum. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 563-568, 2001.

DAVIES, P. J. The plant hormones: their nature, occurrence, and functions. In: DAVIES, P. J. (Ed.). **Plant hormones and their role in plant growth and development**. The Netherlands: Kluwer Academic, p. 1-23, 1987.

DESTAQUE RURAL. **Produção de cevada cresce 13% na safra 2024**. In: DESTAQUE RURAL, 05 dez. 2024. Disponível em: <https://destaquerural.com.br/agricultura/cevada/producao-de-cevada-cresce-13-na-safra-2024>. Acesso em: 17 jan. 2025.

DINIZ, L. T. **Efeito da adubação nitrogenada, via fertirrigação, no nitrogênio da biomassa microbiana do solo e na qualidade de grãos de cevada**. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

EDNEY, M. J.; O'DONOVAN, J. T.; TURKINGTON, T. K.; CLAYTON, G. W.; MCKENZIE, R.; JUSKIW, P.; MAY, W. Effects of seeding rate, nitrogen rate and cultivar on barley malt quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 13, p. 2672-2678, 2012.

EICHELBAUN, M. **Maltaria Campos Gerais revela data de início da produção**. In: DC MAIS, 09 nov. 2023. Disponível em: <https://dcmais.com.br/ponta-grossa/exclusivo-maltaria-campos-gerais-revela-data-de-inicio-da-producao>. Acesso em: 17 jan. 2025.

EMBRAPA. **Cultivo da Cevada**. Sistema de Produção EMBRAPA, 21 jul. 2023. Disponível em: [https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistema](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema). Acesso em: 19 mai. 2024.

EMBRAPA. **Cevada**. In: EMBRAPA FLORESTAS, 20 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cevada>. Acesso em: 1 fev. 2025.

EMBRAPA. **Mais de 90% da cevada plantada no Brasil é resultado da pesquisa nacional**. In: Portal Embrapa Notícias, 07 jun. 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/semiarido/busca-de-noticias/-/noticia/13242920/mais-de-90-da-cevada-plantada-no-brasil-e-resultado-da-pesquisa-nacional>. Acesso em: 17 jan. 2025.

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; GROSSI, J. A. S.; SOUZA, M. A.; SOUZA, L. T.; FAVARATO, L. F. Use of growth retardants in wheat. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 379-387, 2009.

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; SOUZA, L. T.; SOUZA, M. A.; GROSSI, J. A. S. Efeitos de reguladores de crescimento na alongação do colmo de trigo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 109-116, 2010.

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS DATA. **Production/Crops**. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>> Acesso em: 17, jan. 2025.

FEDERIZZI, L. C.; FANTINI, A. C.; CARVALHO, F. I. F. Efeito do acamamento artificial em genótipos de trigo de porte alto e baixo. **Ciência Rural**, v. 24, p. 465-469, 1994.

FERRARI, S.; FURLANI JÚNIOR, E.; FERRARI, J. V.; SANTOS, M. L.; SANTOS, D. M. A. Desenvolvimento e produtividade do algodoeiro em função de espaçamentos e aplicação de regulador de crescimento. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 3, p. 365-371, 2008.

FONSECA, L. L.; TROYJACK, C.; ROBERTO, J. Performance fisiológica de diferentes genótipos de cevada submetidas a diferentes doses de adubação nitrogenada. In: XXVII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4º Semana Integrada, 15., 2018. Pelotas. **Anais...** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, RS, 2018. Disponível em: [https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2018/CA\\_01684.pdf](https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2018/CA_01684.pdf). Acesso em: 17 jan. 2025.

FONTANA, A. C.; FURONI, G. C.; MELO, A. M. R.; SABUNDJIAN, M. T. A cultura da cevada (*Hordeum vulgare* L.). **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT**, n. 1, p. 8, 2016.

FREITAS, C. F. **Maltaria Campos Gerais é inaugurada no Paraná com investimento de R\$ 1,6 bilhão**. In: CATÁLISE, 13 jun. 2024. Disponível em: <https://catalisi.com.br/maltaria-campos-gerais-e-inaugurada-no-parana-com-investimento-de-r-16-bilhao>. Acesso em: 17 jan. 2025.

GOERGEN, N.; CEOLIN, G. M.; DA SILVA, V. R.; KULCZYNSKI, S. M. Qualidade fisiológica de sementes de culturas de inverno tratadas com zinco. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 24, n. 1/2, p. 23-31, 2018.

GRAFIUS, J. E.; BROWN, H. M. Lodging resistance in oats. **Agronomy Journal**, v. 46, n. 9, p. 414-418, 1954.

GRANT, B. L. **Types of plant lodging: treating plants affected by lodging**. In: Gardening Know How, 20 dez. 2022. Disponível em: <https://www.gardeningknowhow.com/edible/vegetables/vgen/plants-affected-by-lodging.htm>. Acesso em: 02 fev. 2025.

GUFTA, M.; ABU-GHANNAM, N.; GALLAGHER, E. Barley for brewing: characteristic changes during malting, brewing and applications of its by-products. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 9, n. 4, p. 318-328, 2010.

HECKMAN, N. L.; ELTHON, T. E.; HORST, G. L.; GAUSSOIN, R. E. Influence of trinexapac-ethyl on respiration of isolated wheat mitochondria. **Crop Science**, v. 42, n. 2, p. 423-427, 2002.

- 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.
- HOSSEN, D. D. C.; CORRÊA JÚNIOR, E. D. S.; GUIMARÃES, S.; NUNES, U. R.; GALON, L. Tratamento químico de sementes de trigo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 104-109, 2014.
- IDEHEN, E.; TANG Y.; SANG S. Review Article: Bioactive phytochemicals in barley. **Journal of Food and Drug Analysis**. v. 25, p. 148-161, 2017.
- JAQUES, B. A. J. **Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de cevada em função da adubação nitrogenada**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2018.
- JEMAL, K. Yield Response and Barley Grain Quality to Nitrogen Fertilization in West Arsi Highland of Ethiopia. **Global Academy Journal of Agricultural Biosciences**, v. 4, p. 52-62, 2022.
- KAPPES, C.; ARF, O.; SÁ, M. E.; FERREIRA, J. P.; PORTUGAL, J. R.; ALCALDE, A. M.; VILELA, R. G. Reguladores de crescimento e seus efeitos sobre a qualidade fisiológica de sementes e crescimento de plântulas de crotalaria. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 2, p. 180-190, 2012.
- KASPARY, T. E.; LAMEGO, F. P.; BELLÉ, C.; KULCZYNSKI, S. M.; PITTOL, D. Regulador de crescimento na produtividade e qualidade fisiológica de sementes de aveia branca. **Planta Daninha**, v. 33, n. 4, p. 739-750, 2015
- KLEIN, C. B. **Eficiência nutricional, aminoácidos na planta e proteína de grão de genótipos de cevada**. 2018. 68 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2018.
- KLUGE, R. A.; TEZOTTO-ULIANA, J. V.; DA SILVA, P. P. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 56-73, 2015.
- KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B. Atributos de desempenho industrial e qualidade fisiológica de sementes em aveia branca em função da disponibilização da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 587-589, 2003.
- KRUKLIS, K. L. **Cevada: importância da utilização na alimentação humana e a aplicabilidade na gastronomia**. 2019. 30f. Monografia (Graduação em Gastronomia) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2019.
- KUPKE, B. M.; TUCKER, M. R.; ABLE, J. A.; PORKER, K. D. Manipulation of barley development and flowering time by exogenous application of plant growth regulators. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 694424, 2022.
- LINZAMEYER JUNIOR, R.; GUIMARÃES, V.F.; SANTOS, D. dos; BENCKE JUNIOR, LINZMEYER JUNIOR, R.; GUIMARÃES, V. F.; SANTOS, D.; BENCKE, M. H. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 3, p. 373-379, 2008.
- LIZARAZO, D. X. C. **Parâmetros físico-químicos, germinativos e microestruturais de qualidade em cultivares brasileiros de cevada cervejeira**. 2003. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.

LONGNECKER, N.; KIRBY, E. J. M.; ROBSON, A. Leaf emergence, tiller growth, and apical development of nitrogen-deficient spring wheat. **Crop Science**, v. 33, n. 1, p. 154-160, 1993.

LUDWIG, M. P.; SCHUCH, L. O. B.; LUCCA FILHO, O. A.; AVELAR, A. A. G.; MIELEZRSKI, F.; DE OLIVEIRA, S., CRIZEL, R. L. Desempenho de sementes e plantas de milho híbrido originadas de lotes de sementes com alta e baixa qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 1, p. 83-92, 2009.

MADIĆ, M.; KNEŽEVIĆ, D.; PAUNOVIĆ, A.; ĐUROVIĆ, D. Plant height and internode length as components of lodging resistance in barley. **Acta Agriculturae Serbica**, v. 21, n. 42, p. 99-106, 2016.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional da planta - princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para o Estudo da Potassa e do Fosfato, 1997.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes**. 12. ed. Piracicaba: Fealq, 2005.

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D., FRANÇA NETO, J. B. (eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, p.1-21, 1999.

MARQUES, M. C.; HAMAWAK, O. T.; BUENO, M. R.; REIS, M. S. CRUZ, C. D.; NOGUEIRA, A. P. O. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em diferentes épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, p. 59-69, 2011.

MARKET RESEARCH INTELLECT. **From Lager to IPA: The Rapid Growth of the Global Beer Market**. In: MARKET RESEARCH INTELLECT, 14 nov. 2024. Disponível em: <https://www.marketresearchintellect.com/blog/from-lager-to-ipa-the-rapid-growth-of-the-global-beer-market/>. Acesso em: 17 jan. 2025.

MATOS, V. F.; BORSOI, A. Produtividade cultivares de cevada em diferentes populações de plantas em Cascavel/PR. In: CITY FARM FAG, 3º Edição, 18., 2023. Cascavel. **Anais...** Cascavel: FAG Centro Universitário de Cascavel, PR, 2023. Disponível em: <https://cityfarm.fag.edu.br/assets/documentos/anais/2023/PRODUTIVIDADE%20CULTIVARES%20DE%20CEVADA%20EM%20DIFERENTES%20POPULA%C3%87%C3%95ES%20DE.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2025.

Mc MILLAN, T.; TIDEMANN, B. D.; O'DONOVAN, J. T.; IZYDORCZYK, M. S. Effects of plant growth regulator application on the malting quality of barley. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 5, p. 2082-2089, 2020.

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

MINELLA, E. **Indicações Técnicas para a Produção de Cevada Cervejeira nas Safras 2017 e 2018**. In: XXXI Reunião Nacional de Pesquisa de Cevada, Passo Fundo, 2017. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1087382/1/ID442942017SP9IindicacoesCevada20172018.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2025.

- MIZINIAK, W.; MATYSIAK, K.; KACZMAREK, S. Studies on trinexapac-ethyl dose reduction by combined application with adjuvants in spring barley. **Journal of Plant Protection Research**, v. 57, n. 1, 2017.
- MOTTA, I. S.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; INOUE, M. H.; ÁVILA, M. R.; BRACCINI, M. C. L. Época de semeadura em cinco cultivares de soja. II. Efeito na qualidade fisiológica das sementes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 24, n. 5, p. 1281-1286, 2002.
- MUNDSTOCK, C. M. **Cultivos de cereais de estação fria: trigo, cevada, aveia, centeio, alpiste e triticale**. Porto Alegre: Editora NBS, 1983.
- MUNDSTOCK, C. M.; BREDEMEIER, C. Disponibilidade de nitrogênio e sua relação com o afilhamento e o rendimento de grãos de aveia. **Ciência Rural**, v. 31, n. 2, p. 205-211, 2001.
- MUT, Z.; ERBAŞ K. Ö. D.; KARDES, Y. M.; AKAY, H. Determination of grain yield and nutrition traits in hull-less barley genotypes. **Gesunde Pflanzen**, v. 75, n. 4, p. 1369-1377. 2023.
- MUZZOLON, E.; MELATI, J.; LUCCHETTA, L.; BRAVO, C. E. C.; TONIAL, I. B. Processamento da cevada para produção de malte: parâmetros de qualidade. **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 3, p. 204-225, 2021.
- NAKAYAMA, K.; KAMIAY, Y.; KOBAYASHI, M.; ABE, H.; SAKURAI, A. Effects of a plant-growth regulator, prohexadione, on the biosynthesis of gibberellins in cell-free systems derived from immature seeds. **Plant Cell Physiology**, v. 31, n. 8, p. 1183-1190, 1990.
- NEUMANN, M.; OLIVEIRA, M. R.; SPADA, C. A.; FIGUEIRA, D. N.; POCZYNEK, M. Componentes de rendimento e produção da planta de cevada em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 2, n. 3, p. 61-68, 2009.
- O'DONOVAN, J. T.; TURKINGTON, T. K.; EDNEY, M. J.; JUSKIW, P. E.; MCKENZIE, R. H.; HARKER, K. N.; SMITH, E. Effect of seeding date and seeding rate on malting barley production in western Canada. **Canadian journal of plant science**, v. 92, n. 2, p. 321-330, 2012.
- OLIVEIRA, W. C.; FERREIRA, D. T. L.; LORENZETTI, E. R.; RUTZEN, É. R.; DE LIMA, P. H. P.; MALFATO, R. A. Influência de nitrogênio aplicado em cobertura na cultura do trigo. **Revista Cultivando o Saber**, v. 4, n. 4, p. 113-128, 2011.
- OLUMEKUN, V. O. An analysis of the response of winter wheat (*Triticum aestivum*) components to cycocel (Chlormequat) application. **Journal of Agronomy and Crop Science-Zeitschrift Fur Acker Und Pflanzenbau**, v. 176, n. 3, p. 145-150, 1996.
- ORAL, E.; KENDAL, E.; DOGAN, Y. Influence of nitrogen fertilization levels on grain yield and its components in barley (*Hordeum vulgare* L.). **Agriculture & Forestry**. v. 64, n. 2, p. 43-63, 2018.
- OUROFINO AGROCIÊNCIA. **Trix 250®**. In: ADAPAR, 2025. Disponível em: [https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos\\_restritos/files/documento/2021-08/trix250.pdf](https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2021-08/trix250.pdf). Acesso em: 17 jan. 2025.
- PAGLIOSA, E. E.; BENIN, G.; BIEZUS, E.; BECHE, E.; SILVA, C. L.; MARCHESE, J. A.; MARTIN, T. N. Trinexapac-ethyl e adubação nitrogenada na cultura do trigo. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 623-630, 2013.

PALMER, G. barley and malt. In: PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. **Handbook of Brewing**. CRC Press, p. 139-160, 2006.

PENCKOWSKI, L. H. **Efeitos do trinexapac-ethyl e do nitrogênio na produtividade do trigo**. 2006. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2006.

PEREIRA, L. E. **A importância da fertilização nitrogenada na cultura da cevada**. 2022. 30 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Instituição Anhanguera, Passo Fundo, RS, 2022.

PERON, I. B. G.; PORTUGAL, J. R.; ARF, O.; ANTÔNIO, R.; RODRIGUES, F.; DE CASTILHO GITTI, D. Nitrogen supply associated with the application of trinexapac-ethyl in upland rice irrigated by sprinkler. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 2137-2150, 2019.

PERUZZO G. “Nitrogênio no Seu Trigo”. **Embrapa Trigo**, Passo Fundo v. 2, n. 16, p.1 2000.

PINTHUS, M. J. Estimate of genotypic value: A proposed method. **Euphytica**, v. 22, n. 1, p. 121-123, 1973. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00021563>. Acesso em: 17 jan. 2025.

POLETO, N. **Nitrogênio no solo e na planta e o manejo da adubação nitrogenada em cevada no sistema plantio direto**. 2004. 118 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004.

PRAZERES, C. S.; COELHO, C. M. M.; ARALDI, C. G.; SOUZA, C. A. Qualidade fisiológica e teor de proteínas solúveis em sementes de milho durante o processo de germinação. In: XXXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, XXXI CNMS, 2016, Bento Gonçalves, **Anais...** Bento Gonçalves: Universidade Federal de Pelotas, RS, 2016. Disponível em: [https://www.abms.org.br/cnms2016\\_trabalhos/docs/958.pdf](https://www.abms.org.br/cnms2016_trabalhos/docs/958.pdf). Acesso em: 17 jan. 2025.

RADEMACHER, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 51, n. 1, p. 501-531, 2000.

RAJALA, A.; PELTONEN-SAINIO, P. Plant growth regulator effects on spring cereal root and shoot growth. **Agronomy Journal**, v. 5, n. 93, p. 936-943, 2001.

RANI, H.; BHARDWAJ, R. Quality attributes for barley malt: “The backbone of beer”. **Journal of Food Science**, v. 86, n. 8, p. 3322-3340, 2021.

RODRIGUES, A. **Mercado cervejeiro cresce no Brasil e aumenta interesse pela produção de lúpulo e cevada**. 2022. In: GOV.BR, 01 nov. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mercado-cervejeiro-cresce-no-brasil-e-aumenta-interesse-pela-producao-de-lupulo-e-cevada>. Acesso em: 17 jan. 2025.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; TEIXEIRA, M. C. C.; ROMAN, E. S. **Redutores de crescimento**. Passo Fundo: Embrapa Trigo - (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico, 14). p. 18, 2003.

SÁ, M. E. Importância da adubação nitrogenada na qualidade fisiológica de sementes. In: SÁ, M. E.; BUZZETTI, S. **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Icone, p. 65-98, 1994.

SANCHES, F. M.; CUNHA, F. F.; FELICIANO DOS SANTOS, O.; SOUZA, E. J.; LEAL, A.

- J. F.; THEODORO, G. F. Desempenho agrônomo de cultivares de cevada cervejeira sob diferentes lâminas de irrigação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 89- 102, 2015.
- SHEWRY P. R.; ULLRICH, S., E., Barley: **Chemistry and Technology**, 2ª Edição, AACC International Press, St. Paul, 2011.
- SINDICERV. **Anuário da Cerveja 2024**. In: SINDICERV, 2024. Disponível em: <https://www.sindicerv.com.br/anuario-da-cerveja-2024/>. Acesso em: 1 fev. 2025.
- SUBEDI, M.; KARIMI, R.; WANG, Z.; GRAF, R. J.; MOHR, R. M.; O'DONOVAN, J. T.; BERES, B. L. Winter cereal responses to dose and application timing of trinexapac-ethyl. **Crop Science**, v. 61, n. 4, p. 2722-2732, 2021.
- SWOISH, M.; DA CUNHA LEME FILHO, J. F.; REITER, M.; STEWART, R.; THOMASON, W. Trinexapac-ethyl rate and timing impact on malt barley production in Virginia. **Crop, Forage & Turfgrass Management**, v. 7, n. 2, p. e20101, 2021.
- TANAKA, R.; NAKANO, H. Barley yield response to nitrogen application under different weather conditions. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 8477, 2019.
- TEHULIE, N. S.; ESKEZIA, H. Effects of nitrogen fertilizer rates on growth, yield components and yield of food Barley (*Hordeum vulgare* L.): A Review. **Journal of Plant Science and Agricultural Research**, v. 5, p. 46, 2021.
- TEIXEIRA FILHO, M. C. M. T.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 8, p. 797-804, 2010.
- TEIXEIRA, C. C. M.; RODRIGUES, O. **Efeito da adubação nitrogenada, arranjo de plantas e redutor de crescimento no acamamento e em características de cevada**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 16p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 20). 2003.
- TIDEMANN, B. D.; O'DONOVAN, J. T.; IZYDORCZYK, M.; TURKINGTON, T. K.; OATWAY, L.; BERES, B.; DE GOOIJER, H. Effects of plant growth regulator applications on malting barley in western Canada. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 100, n. 6, p. 653-665. 2020.
- VIEIRA, R. D.; MINOHARA, L.; PANOBIANCO, M.; BERGAMASCHI, M. C. M.; MAURO, A. O.; Comportamento de cultivares de soja quanto a qualidade fisiológica de sementes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 2, p. 123-130, 1998.
- VISUAL CAPITALIST. **Mapped: Beer Consumption by Region Around the World**. In: Visual CAPITALIST, 02 set. 2024. Disponível em: <https://www.visualcapitalist.com/mapped-beer-consumption-by-region-around-the-world/>. Acesso em: 17 jan. 2025.
- WAMSER, A. F.; MUNDSTOCK, C. M. Adubação nitrogenada em estádios fenológicos em cevada, cultivar" MN 698". **Ciência Rural**, v. 37, p. 942-948, 2007.
- YANO, G. T.; TAKAHASHI, H. W.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes de nitrogênio e épocas de aplicação em cobertura para o cultivo do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 2, p. 141-148, 2005.
- ZAGONEL, J.; FERNANDES, E. C. Doses e épocas de aplicação do regulador de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 331-339, 2007.

ZANATTA, A. C. A.; OERLECKE, D. Efeito de genes de nanismo sobre alguns caracteres agronômicos e morfológicos de *Triticum aestivum* (L.) Thell. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 7, p. 1001-1016, 1991.

ZHANG, M.; WANG, H.; YI, Y.; DING, J.; ZHU, M.; LI, C.; et al. Effect of nitrogen levels and nitrogen ratios on lodging resistance and yield potential of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **PLOS ONE**, v. 12, n. 11, p. e0187543, 2017.

ZUCARELI, C.; PANOFF, B.; PORTUGAL, G.; FONSECA, I. C. B. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na qualidade fisiológica de sementes de milho doce. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 3, p. 480-487, 2012.

### 3 ARTIGO A

#### DESEMPENHO PRODUTIVO DE CEVADA SOB DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO ASSOCIADAS À APLICAÇÃO DE TRINEXAPAQUE-ETÍLICO

**3.1 RESUMO:** A aplicação adequada de nitrogênio (N) é crucial para maximizar a produtividade da cultura da cevada, pois o N é um dos nutrientes mais importantes para o crescimento das plantas. No entanto, doses excessivas podem levar ao acamamento das plantas, o que reduz a eficiência da colheita. Os reguladores de crescimento podem ser uma ferramenta útil para manejar o acamamento induzido pelo N, ajudando a fortalecer os caules das plantas e reduzir o risco de quebra e tombamento. No entanto, é importante encontrar um equilíbrio entre a aplicação de N e o uso desses reguladores. As respostas das plantas à aplicação de N e aos reguladores de crescimento podem variar dependendo de fatores como o genótipo da cevada e as condições ambientais de cultivo. Neste sentido, objetivou-se avaliar os componentes de rendimento, o acamamento e a produtividade de grãos da cevada cultivada sob diferentes doses de nitrogênio, associadas ao regulador de crescimento trinexapaque-etílico (TE) em dois ambientes de cultivo. Os experimentos foram conduzidos nos municípios de Londrina e Mauá da Serra, Paraná, com a cultivar de cevada BRS Cauê. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro doses de N em cobertura (0, 25, 50 e 75 kg ha<sup>-1</sup>) na forma de ureia, e com e sem a aplicação de TE na dose de 125 g ha<sup>-1</sup> durante o período de alongação do colmo, entre o 1° e 2° nó perceptível. Os caracteres agrônômicos avaliados foram: comprimento de espiga, número de grãos por espiga, altura de plantas, espiga m<sup>2</sup>, acamamento de plantas, massa de mil grãos, peso hectolitro e produtividade de grãos. Os dados coletados foram submetidos a análise de variância, e a comparação entre os níveis de trinexapaque-etílico (com e sem aplicação) foi feita por meio do teste de média Tukey. Para as doses de nitrogênio, os dados foram analisados por regressão até o 2° grau, a 5% de probabilidade. A aplicação de doses de nitrogênio tem impacto significativo no crescimento da cevada em Londrina e Mauá da Serra, além de impactar positivamente a produtividade observada apenas em Londrina. Contudo, essa aplicação eleva a susceptibilidade ao acamamento e reduz parâmetros normalmente associados à qualidade dos grãos, como PH e MMG. A aplicação de trinexapaque-etílico mostrou-se eficaz em reduzir a altura das plantas e o acamamento, mesmo quando do uso de altas doses de nitrogênio, além de contribuir para o aumento da produtividade. Entretanto, a utilização de trinexapaque-etílico também afeta negativamente o peso hectolitro.

**Palavras-chave:** *Hordeum vulgare* L; reguladores de crescimento; produtividade; acamamento; componentes de rendimentos.

**ABSTRACT:** Adequate application of nitrogen (N) is crucial to maximizing barley crop productivity, as N is one of the most important nutrients for plant growth. However, excessive doses can lead to lodging of plants, which reduces harvest efficiency. Growth regulators can be a useful tool for dealing with N-induced lodging, helping to strengthen plant stems and reduce the risk of breakage. However, it is important to find a balance between applying N and using these regulators. Plant responses to N application and growth regulators can vary depending on factors such as barley genotype and environmental growing conditions. In this sense, the objective was to evaluate the yield components, lodging and grain productivity of barley grown under different doses of nitrogen, associated with the growth regulator trinexapac-ethyl (TE) in

two cultivation environments. The experiments were conducted in the municipalities of Londrina and Mauá da Serra, Paraná, with the barley cultivar BRS Cauê. The experimental design adopted was randomized blocks with four replications, in a 4 x 2 factorial scheme, with four doses of N in top dressing (0, 25, 50 and 75 kg ha<sup>-1</sup>) in the form of urea, and with and without the application of TE at a dose of 125 g ha<sup>-1</sup> during the period of stem elongation, between the 1st and 2nd noticeable node. The agronomic traits evaluated were ear length, number of grains per ear, plant height, ear m<sup>-2</sup>, plant lodging, mass of one thousand grains, hectoliter weight and grain productivity. The collected data were subjected to analysis of variance, and the comparison between the trinexapac-ethyl levels (with and without application) was made using the Tukey test. For the nitrogen doses, the data were analyzed by regression up to the 2nd degree, at 5% probability. The application of nitrogen doses has a significant impact on barley growth in Londrina and Mauá da Serra, in addition to positively impacting productivity observed only in Londrina. However, this application increases susceptibility to lodging and reduces parameters normally associated with grain quality, such as hectoliter weight and thousand-grain weight. The application of trinexapac-ethyl has proven effective in reducing plant height and lodging, even when using high nitrogen doses, as well as contributing to increased productivity. However, the use of trinexapac-ethyl also negatively affects hectoliter weight.

**Keywords:** *Hordeum vulgare* L; growth regulators; productivity; lodging; income components.

### 3.2 INTRODUÇÃO

O avanço proporcionado pelos programas de melhoramento genético na cultura da cevada é notável. Não apenas eles aumentaram significativamente o rendimento de grãos, mas também transformaram o cenário produtivo dessa cultura. Atualmente, com novas cultivares adaptadas a diferentes ambientes de cultivo e incorporação de práticas tecnificadas de manejo, a produtividade tem atingido níveis elevados (SANCHES, et al. 2015; TEHULIE; ESKEZIA, 2021). Entretanto, é essencial reconhecer que diversos fatores influenciam o rendimento das culturas. Não se trata apenas de desenvolver novas variedades, mas também de entender profundamente os componentes que contribuem para esse rendimento, incluindo aspectos genéticos, ambientais e de manejo.

A nutrição, em particular, desempenha um papel crucial no desenvolvimento e na produtividade das culturas, incluindo a cevada. A disponibilidade adequada de nutrientes essenciais, como nitrogênio, pode impactar diretamente a formação de grãos e outros componentes de rendimento (ARAÚJO et al., 2022; ORAL; KENDAL; DOGAN, 2018; TEHULIE; ESKEZIA, 2021). Por exemplo, a deficiência de nitrogênio pode resultar em perfilhos insuficientes e menor número de grãos por espiga, afetando negativamente a produtividade final da cultura (BARBOSA, 2022; NEUMANN et al., 2009; PEREIRA, 2022;).

No entanto, é importante ressaltar que a aplicação de nitrogênio deve ser feita de forma equilibrada e de acordo com as necessidades da cultura e as condições do solo e clima. Uma dose excessiva de nitrogênio pode resultar em efeitos indesejados, como crescimento vegetativo excessivo proporcionando acamamento (ARAÚJO et al., 2022), redução na eficiência do uso de nutrientes, maior suscetibilidade a doenças e pragas, o que interfere negativamente na produção e na qualidade dos grãos (ARF et al., 2012; PANKAJ et al., 2015).

Entre as estratégias para o uso de altas doses de N visando a obtenção de elevados rendimentos agrônômicos, sem a ocorrência de acamamento, destaca-se a utilização de reguladores de crescimento como o trinexapaque-etílico (TE). Embora ele seja principalmente utilizado para reduzir o acamamento de plantas na cultura da cevada, ou seja, para evitar que as plantas se dobrem ou se deitem excessivamente, alguns estudos têm indicado que ele pode ter efeitos positivos adicionais na produtividade das culturas (AMABILE et al., 2004; BORSATO; PENCKOWSKI; KUFF, 2023; SWOISH et al., 2021). Esses efeitos podem estar relacionados a uma série de fatores, como a regulação do crescimento vegetal, a melhoria na eficiência do uso de nutrientes, a redução de perdas por quebra de colmos e a otimização da distribuição de energia nas plantas.

Essas informações destacam a complexidade das interações entre os reguladores de crescimento e as plantas, e sugerem que o TE pode ter um papel mais amplo no aumento da produtividade agrícola do que simplesmente prevenir o acamamento. No entanto, é importante ressaltar que os efeitos do TE podem variar dependendo da cultura, das condições de crescimento e do manejo agrônômico, e mais pesquisas são necessárias para entender completamente seus efeitos e otimizar sua aplicação.

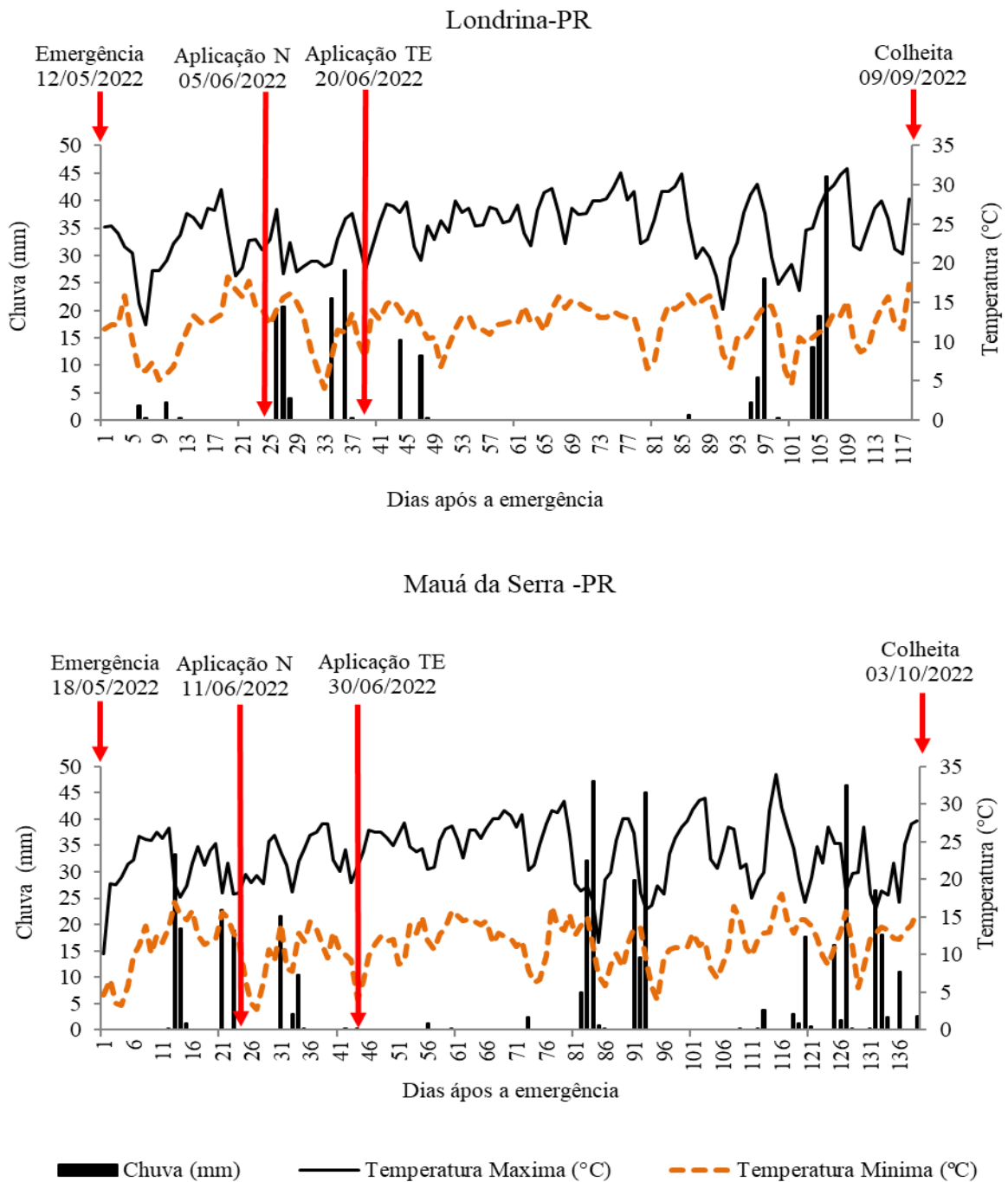
Neste sentido, objetivou-se avaliar os componentes de rendimento, o acamamento de plantas e a produtividade de grãos da cevada cultivada sob diferentes doses de nitrogênio, associadas ao regulador de crescimento trinexapaque-etílico em dois ambientes de cultivo com características edafoclimáticas contrastantes.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na safra 2022 em dois ambientes. O primeiro no município de Londrina-PR, na Estação Experimental do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER (IDR-Paraná) em Latossolo Vermelho eutroférico (EMBRAPA, 2018) localizado nas seguintes coordenadas geográficas: 23°23' S e 51°11' O e altitude de 610 m, o clima da região é do tipo Cfa, descrito como subtropical úmido

segundo classificação de Köpen. O segundo foi no município de Mauá da Serra-PR, na Fazenda Estância 3M, em Latossolo Vermelho distroférrico localizado nas seguintes coordenadas geográficas: 23°58' S e 51°19' W e altitude de 847 m, o clima da região é do tipo Cfb, descrito como temperado mesotérmico, segundo classificação de Köpen (EMBRAPA, 2018). As temperaturas máximas e mínimas e a precipitação pluviométrica durante a condução do experimento são apresentadas na Figura 2.

**Figura 2** - Dados médios diários de temperatura e precipitação pluvial para os períodos de condução dos experimentos em Londrina-PR e Mauá da Serra-PR.



As características químicas do solo, na profundidade de 0-20 cm, foram determinadas antes da instalação dos experimentos. Sendo, em Londrina-PR, representadas por: pH (CaCl<sub>2</sub>) 4,80; 0,16 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H + Al<sup>3+</sup>; 4,45 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup>; 1,56 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>2+</sup>; 0,68 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>; 33,3 mg dm<sup>-3</sup> de P e 16,40 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica; em Mauá da Serra-PR, por: pH (CaCl<sub>2</sub>) 5,12; 0,13, cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H + Al<sup>3+</sup>; 6,80 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup>; 1,68 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>2+</sup>; 0,57 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>; 36,04 mg dm<sup>-3</sup> de P e 29,96 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica.

Nos experimentos foi avaliada a cultivar de cevada BRS Cauê desenvolvida pelo programa de melhoramento genético da EMBRAPA Trigo, em parceria com a AmBev e a Cooperativa Agrária Agroindustrial e lançada no ano de 2008. Essa cultivar apresenta ciclo médio (tempo médio para a maturação 125 dias), moderada resistência ao acamamento e estatura média de 80 cm.

A semeadura foi realizada nos municípios de Londrina e Mauá da Serra no sistema de plantio direto, em sucessão ao cultivo da soja, nos dias 05/05/2022 e 11/05/2022, com emergência em 12/05/2022 e 18/05/2022 e colheita em 09/09/2022 e 03/10/2022, respectivamente. A adubação de base foi constituída da aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de NPK, fórmula 10-30-10 na semeadura.

As unidades experimentais foram compostas por parcelas de 6 linhas de 5m, com espaçamento de 17cm, e com densidade de 350 sementes viáveis m<sup>-2</sup>, considerando-se como área útil as 4 linhas centrais da parcela.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro doses de N em cobertura (0, 25, 50 e 75 kg ha<sup>-1</sup>); com e sem a aplicação de TE. A adubação de cobertura foi realizada a lanço na fase do perfilhamento, na forma de ureia (45% de N). Já a aplicação do regulador de crescimento foi feita durante o período de alongação do colmo, entre o 1º e 2º nó perceptível. Para o tratamento com regulador de crescimento foi utilizada a dose de 125 g i.a ha<sup>-1</sup>, correspondente a 500 ml ha<sup>-1</sup> do produto comercial Moddus®, aplicado por meio de pulverizador costal à pressão constante de 30 lb pol<sup>-2</sup>, pressurizado por CO<sub>2</sub> comprimido, munido de duas pontas com bicos de jato plano “leque” XR 110-020, com volume de calda proporcional a 200 L ha<sup>-1</sup>.

Os tratamentos fitossanitários para o controle de doenças e os demais tratos culturais foram realizados conforme a necessidade e recomendações para a cultura.

A colheita foi realizada após os grãos atingirem a maturação de colheita, estágio caracterizado pelo endurecimento da cariopse, plantas com aspecto seco e grãos com umidade abaixo de 20%.

As seguintes características agronômicas e componentes de produção foram avaliados:

- ✓ Comprimento da espiga (CE): foi determinada pela medição do comprimento da espiga em dez espigas tomadas ao acaso na área útil de cada parcela experimental, no período de enchimento de grãos, do ponto de inserção da espiga até a extremidade da espiga, com resultados médios expressos em cm;
- ✓ Número de grãos por espiga (G/E): foi realizado por meio da retirada dos grãos de dez espigas colhidas aleatoriamente na parcela e, após sua total separação, os mesmos foram contados manualmente;
- ✓ Altura de plantas (AP): foi determinada pela medição do comprimento de dez plantas, tomadas ao acaso na área útil de cada parcela experimental, no período de enchimento de grãos, desde o nível do solo até a extremidade da espiga, com resultados médios expressos em cm;
- ✓ Número de espigas  $m^2$  (E/M<sup>2</sup>): foi determinado por meio da contagem do número de espigas em 1,0 m<sup>2</sup> na área útil das parcelas, considerando que o espaçamento entrelinhas foi de 0,17 m;
- ✓ Acamamento (AC): foi obtido por meio de observações visuais, na fase de maturação das plantas, atribuindo-se notas com valores de 0 (sem acamamento) a 10 (acamamento total da parcela), considerando como planta acamada aquela que se encontrava com inclinação igual ou inferior a 45° em relação ao solo;
- ✓ Massa de mil grãos (MMG): foi obtida mediante a contagem e pesagem de oito repetições de 100 grãos por parcela. A média desses valores foi multiplicada por 10 para obtenção do valor da massa de mil grãos;
- ✓ Peso hectolítrico (PH): determinado em balança hectolítrica com capacidade de um quarto de litro. Foram realizadas duas repetições, retiradas da amostra média de cada parcela. O resultado foi expresso em kg hL<sup>-1</sup>;
- ✓ Produtividade de grãos (PROD): foi determinada pela colheita dos grãos das plantas contidas na área útil da parcela. Após a trilhagem mecânica, os grãos foram pesados e os dados transformados em kg ha<sup>-1</sup> a 13% de umidade.

Os dados foram submetidos às análises de normalidade e homogeneidade dos erros e, em seguida, à análise de variância. A comparação entre os níveis de trinexapaque-etílico (com e sem aplicação) foi feita por meio do teste de média Tukey. Para as doses de nitrogênio, os dados foram analisados por regressão até o 2° grau, a 5% de probabilidade. Todas as análises

estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa computacional Genes (CRUZ, 2013).

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou resultados distintos para as variáveis estudadas em relação às doses de nitrogênio (N) e à aplicação do regulador de crescimento vegetal TE para a cultivar BRS Cauê nos locais de Londrina e Mauá da Serra. A seguir, são detalhados os efeitos significativos identificados em cada localidade: Em Londrina, foi observado efeito significativo para interação entre doses de N e aplicação do TE para as variáveis E/M<sup>2</sup>, PH e AC; para as variáveis AP e PROD houve efeito significativo isolado de doses de N e aplicação de TE; já para a variável MMG constatou-se efeito isolado de doses de N, sem influência da aplicação do TE, enquanto para as variáveis CE e G/E não foi observado efeito significativo para nenhum dos fatores estudados (Tabela 1). Em Mauá da Serra, constatou-se efeito significativo para interação entre doses de N e aplicação do TE para as variáveis E/M<sup>2</sup> e PH; para a variável AP houve efeito significativo isolado de doses de N e aplicação de TE; já para a variável MMG constatou-se efeito isolado de doses de N, sem influência da aplicação do TE, enquanto para as variáveis CE, G/E, AC e PROD foi observado efeito significativo apenas para TE (Tabela 1).

Todas as características avaliadas nos dois ambientes de cultivo apresentaram coeficiente de variação inferior a 10,78%, com exceção da característica AC, indicando uma precisão experimental adequada (Tabela 1). Esses resultados destacam a importância das condições locais e das interações entre tratamentos para o desenvolvimento da cultivar BRS Cauê, influenciando diferentes aspectos do crescimento e produção das plantas.

**Tabela 1** – Valores do quadrado médio da análise de variância e estimativa dos coeficientes de variação (CV) para oito características avaliadas na cultivar de cevada BRS Cauê, cultivada sob diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022.

Local	Variável	QM					Média	CV (%)
		Bloco	Nitrogênio	Regulador	N x R	Resíduo		
Londrina	CE	1,25	0,27 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,79	8,25	10,78
	G/E	6,25	0,25 <sup>ns</sup>	6,13 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	2,18	23,36	6,31
	AP	62,36	338,61*	1069,5*	20,36 <sup>ns</sup>	10,84	70,34	4,68
	E/M <sup>2</sup>	559,59	10394 <sup>ns</sup>	115897**	2297,26*	220,34	584,18	2,54
	AC	2,86	55,96 <sup>ns</sup>	75,65**	7,82**	0,79	3,78	23,65
	MMG	0,13	4,07*	9,57 <sup>ns</sup>	3,63 <sup>ns</sup>	1,7	39,27	3,32
	PH	4,03	10,29 <sup>ns</sup>	32,01**	3,04**	0,41	59,47	2,07
	PROD	96903	192750*	704484,5*	13923,5 <sup>ns</sup>	93505	3834,3	7,97
Mauá da Serra	CE	7,71	0,08 <sup>ns</sup>	2,01**	0,41 <sup>ns</sup>	0,21	8,75	5,22
	G/E	8,79	4,46 <sup>ns</sup>	190,13**	2,79 <sup>ns</sup>	0,84	27,56	4,32

	AP	11,08	39,58*	1431,13*	1,38 <sup>ns</sup>	5,35	71,38	4,24
Mauá da	E/M <sup>2</sup>	810,85	17840 <sup>ns</sup>	22249**	2028,64*	433,15	813,39	3,55
Serra	AC	0,08	5,94 <sup>ns</sup>	120,51**	0,67 <sup>ns</sup>	0,43	3,41	18,35
	MMG	0,13	4,07*	9,57 <sup>ns</sup>	3,63 <sup>ns</sup>	1,7	41,27	3,16
	PH	9,74	10,93 <sup>ns</sup>	56,71**	7,23**	0,79	63,03	3,41
	PROD	219745	61096 <sup>ns</sup>	3160098**	286137 <sup>ns</sup>	164679	5024,1	8,07

\*/\*\*: significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; ns: não significativo;

Graus de liberdade: 3 (bloco); 3 (Nitrogênio); 1 (Regulador); 3 (D x R), 21 (resíduo). Variáveis: CE: comprimento de espiga (cm); G/E: número de grãos por espiga; AP: altura da planta (cm); E/M<sup>2</sup>: número de espiga m<sup>-2</sup>; AC: acamamento de plantas; MMG: massa de mil grãos (g); PH: peso hectolitro (kg hL<sup>-1</sup>); PROD: produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>).

Durante o ciclo da cultura, observou-se que a precipitação pluvial foi de 294 mm em Londrina e de 463 mm em Mauá da Serra (Figura 2). Esses volumes de precipitação podem ser considerados adequados para o desenvolvimento da cevada, bem como para a atuação do regulador de crescimento TE, cujo efeito é minimizado em condições de deficiência hídrica (RODRIGUES et al., 2003; TIDEMANN et al., 2020). No entanto, a distribuição da precipitação foi desuniforme, especialmente durante a fase de maturação da cultura. Em termos gerais, as regiões produtoras de cevada apresentam um padrão de precipitação anual que varia entre 300 e 700 milímetros, embora isso possa variar amplamente.

Essas observações destacam a importância de monitorar não apenas o volume total de precipitação, mas também a sua distribuição ao longo do ciclo da cultura, além de considerar o período de aplicação de reguladores de crescimento para maximizar o rendimento e a qualidade das culturas.

No ambiente de cultivo em Mauá da Serra, a aplicação do TE teve um impacto negativo sobre o comprimento de espiga e o número de grãos por espiga, com reduções médias de 0,45 cm e 4,16 grãos por espigas, respectivamente (Tabela 2). Este resultado é coerente com os achados de Alvarez et al. (2007), que investigaram a influência de doses e épocas de aplicação do TE em arroz de terras altas. Eles observaram que a diminuição do tamanho da panícula pode estar relacionada ao período de aplicação do produto, que geralmente ocorre durante a diferenciação do primórdio floral. Esta fase envolve processos críticos de formação da estrutura da espiga, com multiplicações celulares constantes, o que pode ser afetado pela aplicação do TE, resultando em uma redução do comprimento da panícula.

A altura de planta foi influenciada significativamente pela aplicação de doses de nitrogênio e aplicação do regulador de crescimento, tanto em Londrina como em Mauá da Serra (Tabela 2 e Figuras 3A e B). Nota-se que a variável AP foi ajustada a uma equação linear crescente com o incremento das doses de N (Figuras 3A e B), porém, ocorreu redução média de 10,35 cm (Londrina) e 13 cm (Mauá da Serra) na estatura das plantas em relação aos

tratamentos que não receberam a aplicação do TE (Tabela 2). Barbosa et al. (2022) e Jaques (2018), estudando doses de N na cultura da cevada, também observaram comportamento similar com o aumento das doses de N na altura das plantas. Com relação ao regulador de crescimento, estudos mostram que o TE reduz a altura de plantas na cultura da cevada (TIDEMANN et al., 2020; SWOISH et al., 2021). O resultado obtido é também decorrente da adequada época de aplicação do regulador, durante a diferenciação do primórdio da espiga, atuando diretamente no estágio de alongamento do colmo.

Em resumo, o estudo demonstra que a aplicação de doses crescentes de nitrogênio aumenta a altura das plantas, embora esse efeito possa ser mitigado pela aplicação de um regulador de crescimento, que reduz a altura das plantas quando utilizado na época apropriada. Os resultados são consistentes com os de Bazzo et al. (2019), que, ao estudar a cultura da aveia, observaram que doses elevadas de nitrogênio promovem o acamamento, mas o trinexapaque-etílico minimiza esse efeito. Embora o estudo tenha sido realizado com aveia, os resultados podem ser extrapolados para a cevada, considerando que ambas as culturas possuem características semelhantes. Isso sugere que o nitrogênio promove o crescimento em altura, enquanto reguladores de crescimento como o TE podem ser utilizados para controlar a estatura das plantas, possivelmente evitando o acamamento e melhorando a estabilidade das culturas.

**Tabela 2** - Valores médios de oito características avaliadas na cultivar de cevada BRS Cauê, considerando “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022.

Variável <sup>1</sup>	Safra (Local)	Regulador de Crescimento	Média
CE (cm)	Londrina-PR	Com	8,12 A
		sem	8,25 A
	Mauá da Serra-PR	Com	8,46 B
		sem	8,91 A
G/E	Londrina-PR	Com	22,83 A
		sem	23,83 A
	Mauá da Serra-PR	Com	25,9 B
		sem	30,06 A
AP (cm)	Londrina-PR	Com	62,66 B
		sem	73,01 A
	Mauá da Serra-PR	Com	64,16 B
		sem	77,16A
E/M <sup>2</sup>	Londrina-PR	Com	628,01 A
		sem	514,02 B
	Mauá da Serra-PR	Com	812,66 A
		sem	774,33 B
AC (índice 0 a 10)	Londrina-PR	Com	1,0 B

		sem	4,21 A
	Mauá da Serra-PR	Com	0,95 B
		sem	5,08 A
MMG (g)	Londrina-PR	Com	38,71 A
		sem	39,81 A
	Mauá da Serra-PR	Com	40,71 A
		sem	41,44 A
PH (kg hL <sup>-1</sup> )	Londrina-PR	Com	59,03 B
		sem	60,64 A
	Mauá da Serra-PR	Com	62,63 B
		sem	64,41 A
PROD (kg ha <sup>-1</sup> )	Londrina-PR	Com	3772,66 A
		sem	3612,33 B
	Mauá da Serra-PR	Com	5337,75 A
		sem	4709,51 B

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

<sup>1</sup> Variável: CE: comprimento de espiga (cm); G/E: número de grãos por espiga; AP: altura da planta (cm); E/M<sup>2</sup>: número de espiga m<sup>2</sup>; AC: acamamento de plantas; MMG: massa de mil grãos (g); PH: peso hectolitro (kg hL<sup>-1</sup>); PROD: produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>).

Tanto em Londrina como em Mauá da Serra a característica número de espigas m<sup>-2</sup> ajustou-se a uma equação linear crescente com o incremento das doses de N (Figuras 3C e D). Isso indica que o aumento das doses de N resultou em um maior número de espigas m<sup>-2</sup>, o que é um indicativo positivo da resposta das plantas ao fertilizante nitrogenado. Em Londrina a aplicação do TE resultou em um número de espigas m<sup>-2</sup> superior em todas as doses de N quando comparado aos tratamentos sem a aplicação do TE (Figura 3C). De modo similar, em Mauá da Serra, para quase todas as doses de N (com exceção da dose de 25 kg ha<sup>-1</sup>), a aplicação do TE também resultou em um número de espigas m<sup>-2</sup> superior em comparação com os tratamentos sem aplicação do regulador (Figura 3D). O comportamento diferenciado entre os tratamentos com e sem aplicação do regulador de crescimento pode ser explicado pelo fato de que a aplicação do produto resulta na redução da estatura das plantas (Tabela 2) o que, provavelmente, proporcionou condições favoráveis ao desenvolvimento de perfilhos férteis, devido a maior capacidade de absorção de radiação solar, otimização da distribuição de energia pela planta, e conseqüentemente, um maior número de espigas m<sup>-2</sup>. Castro e Kluge (1999) afirmam que o perfilhamento em gramíneas anuais é favorecido pela alta intensidade luminosa, justificando o resultado encontrado neste estudo para os tratamentos com utilização do regulador de crescimento. Resultados semelhantes foram encontrados por Tidemann et al. (2020), que ao trabalhar com a cultura da cevada no Canadá também observaram aumento do número de espiga m<sup>-2</sup> com a utilização do TE.

Nos tratamentos sem TE, os menores valores de espigas  $m^{-2}$  podem ser atribuídos ao maior desenvolvimento de área foliar devido ao incremento das doses de N. Isso causa sombreamento das folhas inferiores, resultando em maior dominância apical e redução do desenvolvimento de gemas laterais ou perfilhos, conforme descrito por Fornasieri Filho e Fornasieri (2006). Esse sombreamento reduz o desenvolvimento de perfilhos férteis e, conseqüentemente, a produção de espigas  $m^{-2}$ .

É importante notar que, embora o TE tenha aumentado o número de espigas  $m^{-2}$ , isso pode ter levado a uma redução no comprimento das espigas e no número de grãos por espiga em Mauá da Serra. Isso pode estar relacionado à competição por fotoassimilados entre os perfilhos férteis (Tabela 2), sugerindo que há uma compensação entre o número de espigas e o tamanho e número de grãos por espiga.

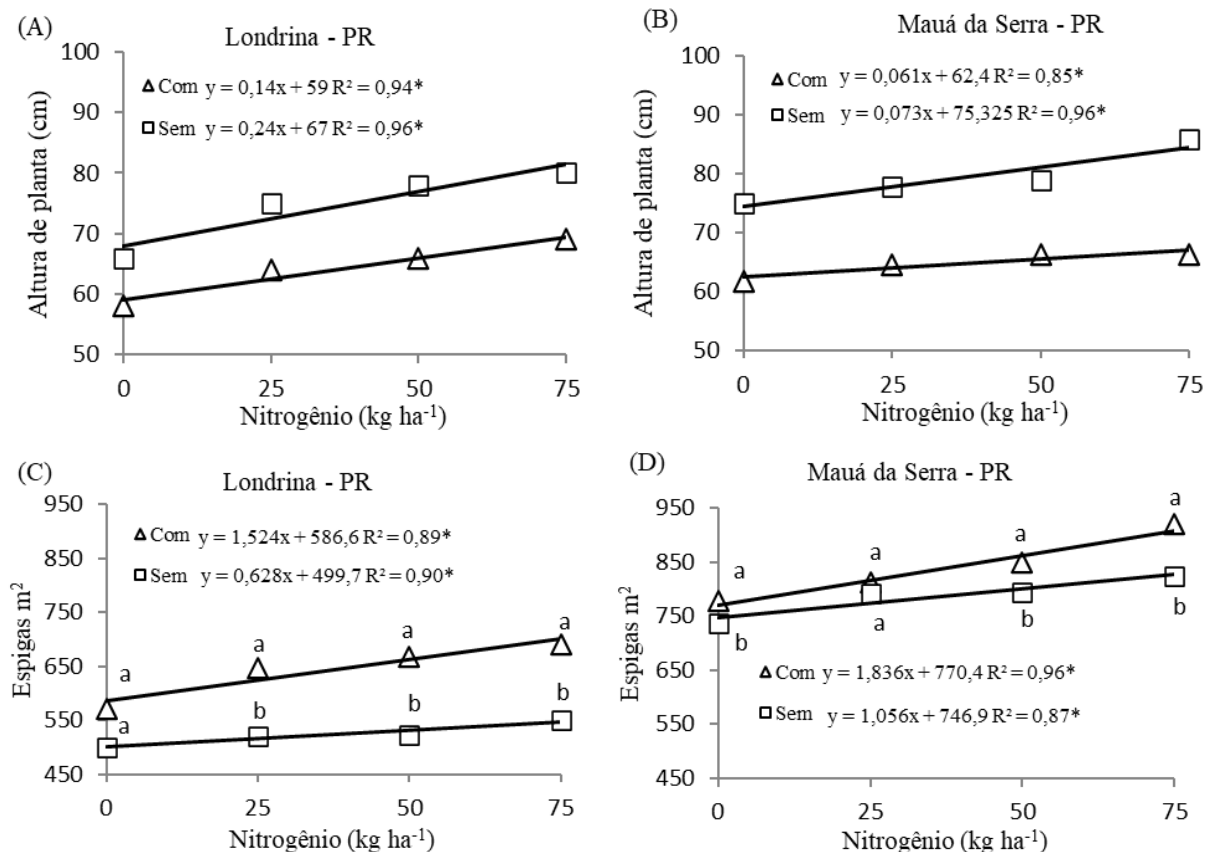
Em resumo, a aplicação de doses crescentes de N aumenta o número de espigas  $m^{-2}$ , e o uso do regulador de crescimento TE intensifica esse efeito, especialmente no ambiente Londrina. No entanto, a aplicação do TE também pode resultar em uma competição interna por recursos, levando a uma redução no tamanho das espigas e no número de grãos por espiga, especialmente observadas em Mauá da Serra. A otimização das condições de crescimento através da redução da estatura das plantas e melhoria na absorção de luz são fatores chave para os resultados observados.

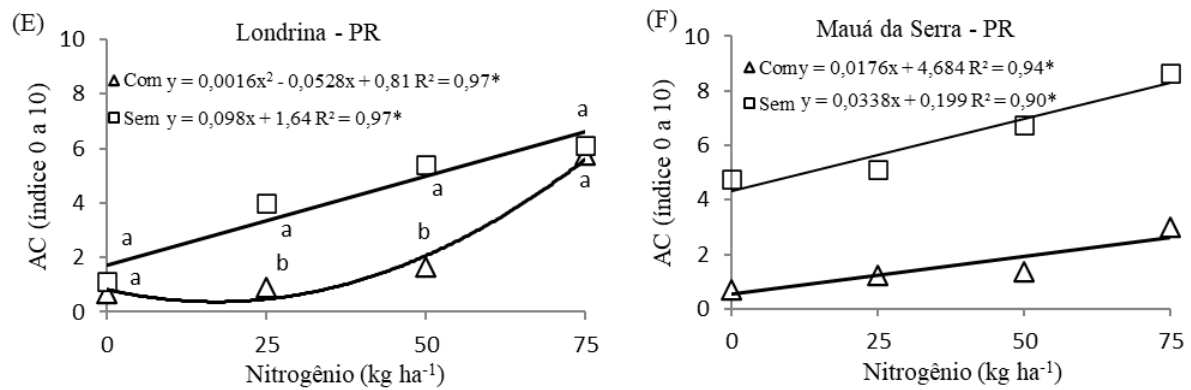
Para a variável acamamento, observa-se ajuste da equação de forma linear crescente com o incremento das doses de N em Londrina e Mauá da Serra (Figuras 3E e F). Isso sugere que doses mais altas de nitrogênio aumentam a susceptibilidade das plantas ao acamamento. Essa observação está em consonância com estudos como o de Bazzo et al. (2019), na cultura da aveia, que indicaram que o excesso de nitrogênio pode favorecer o acamamento devido ao crescimento excessivo das plantas e à redução da resistência estrutural. Barbosa et al. (2022) ao estudarem duas cultivares de cevada e quatro doses de nitrogênio, observaram aumento do acamamento, com o aumento das doses de N. Oral, Kendal e Dogan (2018) e Tehulie e Eskezia (2021) também trabalhando com a cultura da cevada observaram os mesmos efeitos com o uso de N no aumento da estatura das plantas e conseqüentemente a ocorrência de acamamento. No entanto, em Londrina, a aplicação do regulador de crescimento resultou em uma redução de 32% no acamamento em comparação com os tratamentos sem TE. De forma similar, em Mauá da Serra, a redução foi ainda maior, com 40,8% menos acamamento nas plantas tratadas com TE em comparação àquelas sem o regulador (Tabela 2). Esse resultado é consistente com estudos anteriores que mostram que reguladores de crescimento podem efetivamente reduzir o acamamento em diferentes culturas. Por exemplo, Tidemann et al.,

(2020) e Swoish et al., (2021) estudando o efeito de TE na cultura da cevada, mostra que o regulador reduz a altura de plantas e consequentemente o acamamento.

Nas doses de 50 e 75 kg ha<sup>-1</sup> de N, a aplicação do regulador de crescimento resultou em menor acamamento em comparação com os tratamentos sem TE. Isso demonstra que o regulador de crescimento é particularmente eficaz em doses mais altas de N, onde o risco de acamamento é maior. O acamamento pode ser reduzido pelo uso de reguladores de crescimento devido à diminuição da estatura das plantas, que torna as plantas mais resistentes ao acamamento, especialmente em condições de alta disponibilidade de nitrogênio que promovem crescimento rápido e vigoroso, mas estruturalmente mais frágil. O uso de reguladores de crescimento tem sido uma estratégia interessante para minimizar o acamamento em várias culturas, como: cevada (*Hordeum vulgare* L) (TIDEMANN et al., 2020; TEIXEIRA; RODRIGUES, 2003), arroz (*Oryza sativa*) (PERON et al., 2019), trigo (*Triticum aestivum*) (PAGLIOSA et al., 2013), aveia (BAZZO et al., 2019) e crotalaria (*Crotalaria juncea*) (KAPPES et al., 2012).

**Figura 3** - AP: altura da planta (cm); E/M<sup>2</sup>: número de espiga m<sup>-2</sup>; AC: acamamento de plantas da cultivar de cevada BRS Cauê, considerando diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022. <sup>ns</sup> e \* = não significativo e significativo a 5% de erro pelo teste-F.





A aplicação do regulador de crescimento TE não influenciou significativamente a MMG em Londrina e Mauá da Serra. Porém, as doses de N afetaram negativamente a MMG, com um ajuste linear decrescente observado nas equações (Figuras 4A e B). Isso indica que o aumento das doses de N resultou em uma diminuição no peso dos grãos.

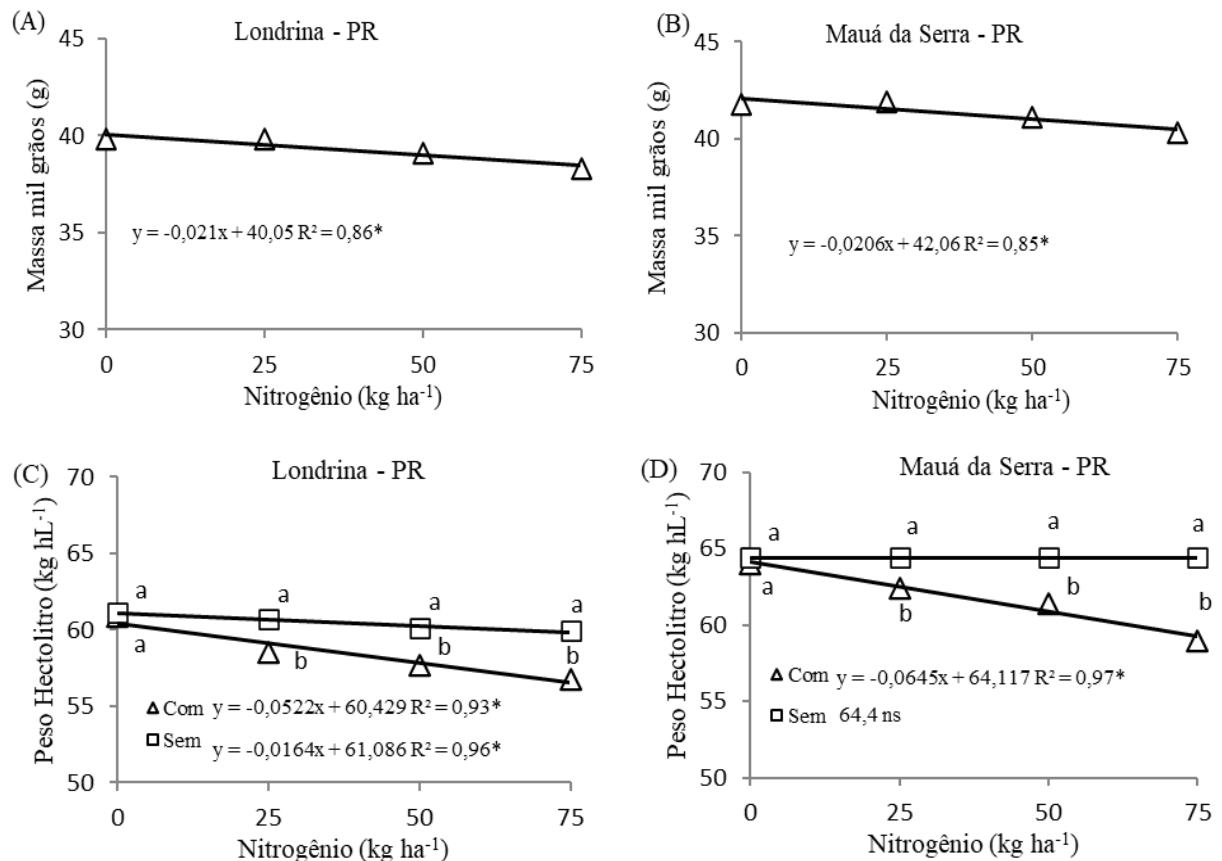
Ao relacionarmos a MMG com o PH observamos o mesmo comportamento frente às doses de N, que teve ajuste da equação de forma linear decrescente com o incremento das doses de N em Londrina e Mauá da Serra. Por outro lado, com a presença do regulador de crescimento, para todas as doses de N com exceção da dose 0 kg ha<sup>-1</sup>, o PH foi inferior em ambos os locais (Figuras 4C e D). O menor enchimento de grãos observado com as doses mais elevadas de N e com a presença do regulador de crescimento pode ser decorrente do maior número de espigas por m<sup>2</sup> e a ocorrência de acamamento para esses tratamentos (Tabela 2).

Sabe-se que a disponibilidade adequada de nitrogênio é fundamental para garantir o crescimento saudável e vigoroso da cultura da cevada, bem como para maximizar o peso e rendimento dos grãos, porém quando o cultivo da cevada é realizado sob altas doses de nitrogênio, problemas como o acamamento das plantas são frequentes, o que interfere negativamente no peso dos grãos (SUBEDI et al., 2021). Como apontado por Araújo et al. (2022) e Pereira (2022), o aumento das doses de nitrogênio na cultura da cevada pode resultar em um crescimento excessivo das plantas. Esse crescimento descontrolado pode contribuir para o fenômeno conhecido como acamamento.

Em síntese, a aplicação de doses crescentes de nitrogênio resultou em uma diminuição tanto na massa de mil grãos, quanto no peso hectolitro, com ajustes lineares decrescentes observados nas equações. A aplicação do regulador de crescimento TE não influenciou diretamente a MMG, mas reduziu o PH em todas as doses de N, exceto na dose zero. Os efeitos negativos das altas doses de N na MMG e PH podem ser atribuídos ao aumento

do acamamento, que prejudica a exposição das espigas à luz solar e a eficiência da fotossíntese, além de aumentar os riscos de doenças e degradação dos grãos.

**Figura 4** - MMG: massa de mil grãos (g); PH: peso hectolitro (kg hL<sup>-1</sup>) da cultivar de cevada BRS Cauê, considerando diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022. <sup>ns</sup> e \* = não significativo e significativo a 5% de erro pelo teste-F.



Em Londrina, a produtividade de grãos aumentou linearmente com o incremento das doses de N (Figura 5A). Estudos anteriores, como os de Oral, Kendal e Dogan (2018) e Pereira (2022), também concluíram que doses elevadas de N podem ser positivas para aumentar o rendimento de grãos na cultura da cevada. Esses resultados corroboram a observação de que o N é um nutriente crucial para o aumento da produtividade.

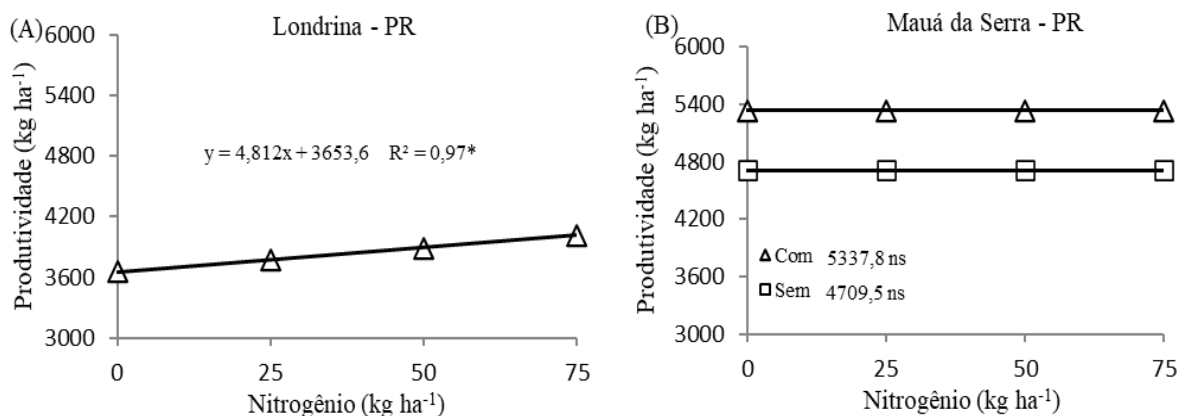
A aplicação do TE resultou em um aumento significativo na produtividade da cevada em comparação com a ausência do regulador de crescimento (Tabela 2). Em Londrina, a diferença de produtividade com a utilização do TE foi de 160 kg ha<sup>-1</sup>; em Mauá da Serra, a diferença foi ainda maior, com um incremento de 628,24 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade. Esses resultados são coerentes com os achados de Tidemann et al. (2020), que também observaram

aumento na produtividade de grãos e no número de espigas por metro quadrado com o uso de TE na cultura da cevada.

O aumento na produtividade observado com a aplicação do TE pode ser atribuído, em grande parte, ao aumento no número de espigas por metro quadrado. Este componente de rendimento é uma característica importante que influencia diretamente a produtividade de grãos em cereais de inverno. No presente estudo, a produtividade de grãos da cultivar BRS Cauê mostrou-se fortemente influenciada pelo número de espigas  $m^{-2}$ , corroborando a importância dessa variável para o rendimento final. Um trabalho realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná por Brunetto (2016) avaliou a produtividade e a qualidade de grãos de trigo com diferentes níveis de nitrogênio. Os resultados mostraram que o número de espigas por metro quadrado é um componente de rendimento que responde positivamente ao aumento dos níveis de nitrogênio, influenciando diretamente a produtividade de grãos

A produtividade da cevada aumentou linearmente com o incremento das doses de nitrogênio em Londrina, e a aplicação do regulador de crescimento TE resultou em produtividades superiores tanto em Londrina quanto em Mauá da Serra. Esses efeitos positivos são atribuídos, principalmente, ao aumento no número de espigas  $m^{-2}$ , o que destaca a importância de manejar adequadamente tanto a fertilização nitrogenada quanto o uso do regulador de crescimento para maximizar o rendimento de grãos.

**Figura 5** - PROD: produtividade de grãos ( $kg\ ha^{-1}$ ) da cultivar de cevada BRS Cauê, considerando diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022. <sup>ns</sup> e \* = não significativo e significativo a 5% de erro pelo teste-F.



Diante do exposto, nota-se que os testes que caracterizaram os componentes de rendimento da cevada apresentaram diferenças entre os locais de cultivo, demonstrando a

influência do ambiente no desenvolvimento e manutenção das características da cultivar. O principal fator que parece ter contribuído para a diferença entre Londrina e Mauá da Serra foi a distribuição da precipitação. Embora os volumes de chuva registrados durante os períodos de cultivo não tenham sido elevados, 294 mm e 463 mm, em Londrina e Mauá da Serra, respectivamente, em Mauá da Serra as chuvas concentraram-se no período de estabelecimento até o início do alongamento da cultura (Figura 2). Essa condição, em Mauá da Serra, proporcionou maior crescimento das plantas, conseqüentemente, maior acamamento. Dessa forma, as características edafoclimáticas das culturas podem afetar direta ou indiretamente o crescimento, o desenvolvimento e o desempenho produtivo dos genótipos de cevada, bem como as suas respostas ao manejo adotado. Essas informações são de extrema importância para a formulação de recomendações para o cultivo da cevada, devendo-se ter os cuidados necessários para escolher adequadamente os materiais genéticos mais adaptados às diferentes regiões de cultivo e adotar manejo correto para utilizar de forma eficiente os insumos aplicados na cultura, buscando reduzir perdas e aumentar os rendimentos. É importante destacar também a importância de se investigar práticas de manejo que favoreçam não apenas o crescimento e desenvolvimento adequado das plantas com aumentos de produtividade, mas também a produção de grãos com alta qualidade.

Esses resultados destacam a importância de um manejo equilibrado da fertilização nitrogenada e o uso de reguladores de crescimento para otimizar o rendimento e a qualidade da cevada, considerando as condições específicas de cada região de cultivo.

### 3.5 CONCLUSÃO

A aplicação de doses de nitrogênio tem impacto significativo no crescimento da cevada em Londrina e Mauá da Serra, além de impactar positivamente a produtividade observada apenas em Londrina. Contudo, essa aplicação eleva a susceptibilidade ao acamamento e reduz parâmetros normalmente associados à qualidade dos grãos, como PH e MMG.

A aplicação de trinexapaque-etílico mostrou-se eficaz em reduzir a altura das plantas e o acamamento, mesmo quando do uso de altas doses de nitrogênio, além de contribuir para o aumento da produtividade. Entretanto, a utilização de trinexapaque-etílico também afeta negativamente o peso hectolitro.

### 3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, R. C. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; RODRIGUES, J. D.; ALVAREZ, A. C. C. Aplicação de reguladores vegetais na cultura de arroz de terras altas. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 29, n. 1, p. 241-249, 2007.
- AMABILE, R. F.; MINELLA, E.; VALENTE, C. M. W.; DA SERRA, D. D. **Efeito do regulador de crescimento trinexapac-etil em cevada cervejeira irrigada em áreas de Cerrado do Distrito Federal**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, EMBRAPA, Planaltina, DF, 2004.
- ARAÚJO, B. O. N.; ZULLI, F. S.; BORGES, E. G.; MONTEIRO, M. A.; ROLIM, J. M.; MEDEIROS, L. B.; AUMONDE, T. Z. Growth and physiological performance of barley plants produced under nitrogen management. *Ingeniería e Investigación*, v. 4, n. 2, p. 89116, 2022.
- ARF, O.; NASCIMENTO, V. D.; RODRIGUES, R. A. F.; ALVAREZ, R. D. C. F.; GITTI, D. D. C.; SÁ, M. E. D. Uso de etil-trinexapac em cultivares de arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, p. 150-158, 2012.
- BARBOSA, B. S.; MEDEIROS, L. B.; DA SILVA, F. L.; FONSECA, L. L.; MARTINAZZO, E. G.; CARLOS, F. S.; PEDÓ, T. Doses de nitrogênio em cevada: rendimento e qualidade de sementes. *Revista Thema*, v. 21, n. 2, p. 402-414, 2022.
- BAZZO, J.H.B.; RIEDE, C.R.; ARRUDA, K.M.A.; CARDOSO, C.P.; FRANZONI, I.; FONSECA, I.C.B.; ZUCARELI, C. Performance of white oat cultivars in response to nitrogen fertilization and trinexapac-ethyl. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, n. 5, p. 2121-2136, 2019.
- BORSATO, E. F.; PENCKOWSKI, L. H.; KUFF, W. **Reguladores de crescimento em cereais de inverno com uso para forragem**. In: Fundação ABC, 25 jul. 2023. Disponível em: <https://fundacaoabc.org/2023/07/25/reguladores-de-crescimento-em-cereais-de-inverno-com-uso-para-forragem/>. Acesso em: 19 mai. 2024.
- BRUNETTO, D. J. **Níveis de nitrogênio na produtividade e qualidade de grãos de trigo**. 2016. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso II. (Bacharelado em Agronomia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, PR, 2016.
- CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de cultivos anuais: trigo, milho, soja, arroz e mandioca**. São Paulo: Nobel, p. 126, 1999.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2018.
- FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 2006.
- JAQUES, B. A. J. **Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de cevada em função da adubação nitrogenada**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2018.
- KAPPES, C.; ARF, O.; SÁ, M. E.; FERREIRA, J. P.; PORTUGAL, J. R.; ALCALDE, A. M.; VILELA, R. G. Reguladores de crescimento e seus efeitos sobre a qualidade fisiológica de

- sementes e crescimento de plântulas de crotalaria. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 2, p. 180-190, 2012.
- NEUMANN, M.; OLIVEIRA, M. R.; SPADA, C. A.; FIGUEIRA, D. N.; POCZYNEK, M. Componentes de rendimento e produção da planta de cevada em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 2, n. 3, p. 61-68, 2009.
- ORAL, E.; KENDAL, E.; DOGAN, Y. Influence of nitrogen fertilization levels on grain yield and its components in barley (*Hordeum vulgare* L.). **Agriculture & Forestry**, v. 64, n. 2, p. 43-63, 2018.
- PAGLIOSA, E. E.; BENIN, G.; BIEZUS, E.; BECHE, E.; SILVA, C. L.; MARCHESE, J. A.; MARTIN, T. N. Trinexapac-ethyl e adubação nitrogenada na cultura do trigo. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 623-630. 2013.
- PANKAJ, S. C.; SHARMA, P. K.; CHOUKSEY, H. D.; SINGH, S. K. Growth and development pattern of barley varieties as influenced by date of sowing and nitrogen levels. **The Bioscan**, v. 10, n. 3, p. 1299-1302, 2015.
- PEREIRA, L. E. **A Importância da Fertilização Nitrogenada na Cultura da Cevada**. 2022. 30 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Instituição Anhanguera, Passo Fundo, RS, 2022.
- PERON, I. B. G.; PORTUGAL, J. R.; ARF, O.; ANTÔNIO, R.; RODRIGUES, F.; DE CASTILHO GITTI, D. Nitrogen supply associated with the application of trinexapac-ethyl in upland rice irrigated by sprinkler. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. (5 suplementos 1), p. 2137-2150, 2019.
- RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; TEIXEIRA, M. C. C.; ROMAN, E. S. **Redutores de crescimento**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 18 p. (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico, 14), 2003.
- SANCHES, F. M.; CUNHA, F. F.; FELICIANO DOS SANTOS, O.; SOUZA, E. J.; LEAL, A. J. F.; THEODORO, G. F. Desempenho agrônômico de cultivares de cevada cervejeira sob diferentes lâminas de irrigação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 89- 102, 2015.
- SUBEDI, M.; KARIMI, R.; WANG, Z.; GRAF, R. J.; MOHR, R. M.; O'DONOVAN, J. T.; BERES, B. L. Winter cereal responses to dose and application timing of trinexapac-ethyl. **Crop Science**, v. 61, n. 4, p. 2722-2732, 2021.
- SWOISH, M.; DA CUNHA LEME FILHO, J. F.; REITER, M.; STEWART, R.; THOMASON, W. Trinexapac-ethyl rate and timing impact on malt barley production in Virginia. **Crop, Forage & Turfgrass Management**, v. 7, n. 2, p. e20101, 2021.
- TEHULIE, N. S.; ESKEZIA, H. Effects of nitrogen fertilizer rates on growth, yield components and yield of food barley (*Hordeum vulgare* L.): A Review. **Journal of Plant Science and Agricultural Research**. v. 5, p. 46, 2021.
- TEIXEIRA, C. C. M.; RODRIGUES, O. **Efeito da adubação nitrogenada, arranjo de plantas e redutor de crescimento no acamamento e em características de cevada**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 16 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 20).
- TIDEMANN, B. D.; O'DONOVAN, J. T.; IZYDORCZYK, M.; TURKINGTON, T. K.; OATWAY, L.; BERES, B.; DE GOOIJER, H. Effects of plant growth regulator applications on malting barley in western Canada. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 100, n. 6, p. 653-665. 2020.

## 4 ARTIGO B

### TRINEXAPAQUE-ETÍLICO E DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE CEVADA

**4.1 RESUMO:** A adubação nitrogenada é essencial para a produtividade e a qualidade das culturas agrícolas, incluindo o desempenho fisiológico das sementes. O nitrogênio (N) é um dos principais nutrientes para o crescimento das plantas, mas altas doses podem causar efeitos adversos, como o acamamento. Os reguladores de crescimento, além de mitigar o acamamento, podem melhorar a arquitetura das plantas, favorecer a produção e a partição de assimilados, potencializando a resposta ao N e contribuindo para o desenvolvimento do potencial fisiológico das sementes. Contudo, mais pesquisas são necessárias para entender totalmente o impacto desses reguladores na produção e qualidade das sementes de cevada. Neste sentido, objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes de cevada cultivada sob diferentes doses de nitrogênio em cobertura, associadas ao regulador de crescimento trinexapaque-etílico (TE) em dois ambientes de cultivo. Os experimentos foram conduzidos nos municípios de Londrina e Mauá da Serra, Paraná, no ano agrícola 2022, com a cultivar de cevada BRS Cauê. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro doses de N em cobertura (0, 25, 50 e 75 kg ha<sup>-1</sup>) na forma de ureia, e com e sem a aplicação de TE na dose de 125 g ha<sup>-1</sup>, durante o período de alongação do colmo, entre o 1° e 2° nó perceptível. Os caracteres de qualidade fisiológica de sementes avaliados, foram: produtividade de sementes, massa de mil sementes, primeira contagem de germinação, germinação, envelhecimento acelerado, comprimento e massa seca de plântulas e emergência de plântulas em areia. Os dados coletados foram submetidos a análise de variância, e a comparação entre os níveis de trinexapaque-etílico (com e sem aplicação) foi feita por meio do teste de média Tukey. Para as doses de nitrogênio, os dados foram analisados por regressão até o 2° grau, a 5% de probabilidade. O estudo revela que o aumento das doses de nitrogênio resulta em maior produtividade de sementes, porém reduziu a qualidade fisiológica, como evidenciado pela massa de mil sementes e envelhecimento acelerado. Por outro lado, a aplicação do regulador de crescimento TE aumentou a produtividade, mas teve impacto negativo na qualidade das sementes, reduzindo a germinação e o vigor. Esses resultados destacam a importância de um equilíbrio no manejo agrônomo para maximizar tanto a produtividade quanto a qualidade das sementes, garantindo uma produção sustentável e de alto rendimento.

**Palavras-chave:** *Hordeum vulgare* L; acamamento; regulador de crescimento; potencial fisiológica; vigor; adubação nitrogenada; produtividade de sementes.

**ABSTRACT:** Nitrogen fertilization is essential for crop productivity and quality, including seed physiological performance. Nitrogen (N) is one of the main nutrients for plant growth, but high doses can cause adverse effects, such as lodging. Growth regulators, in addition to mitigating lodging, can improve plant architecture, favor the production and partitioning of assimilates, enhancing the response to N and contributing to the development of seed physiological potential. However, more research is needed to fully understand the impact of these regulators on barley seed production and quality. In this sense, the objective was to evaluate the physiological quality of barley seeds cultivated under different nitrogen doses under cover, associated with the growth regulator trinexapac-ethyl (TE) in two cultivation environments. The experiments were conducted in the municipalities of Londrina and Mauá da

Serra, Paraná, in the 2022 agricultural year, with the barley cultivar BRS Cauê. The experimental design adopted was randomized blocks with four replications, in a 4 x 2 factorial scheme, with four doses of N in top dressing (0, 25, 50 and 75 kg ha<sup>-1</sup>) in the form of urea, and with and without the application of TE at a dose of 125 g ha<sup>-1</sup>, during the period of stem elongation, between the 1st and 2nd noticeable node. The physiological seed quality traits evaluated were seed productivity, mass of one thousand seeds, first germination count, germination, accelerated aging, length and dry mass of seedlings and emergence of seedlings in sand. The collected data were subjected to analysis of variance, and the comparison between the trinexapac-ethyl levels (with and without application) was made using the Tukey test. For the nitrogen doses, the data were analyzed by regression up to the 2nd degree, at 5% probability. The study reveals that increasing nitrogen doses resulted in greater seed productivity, but reduced physiological quality, as evidenced by the mass of a thousand seeds and accelerated aging. On the other hand, application of the growth regulator TE increased productivity but had a negative impact on seed quality, reducing seed germination and vigor. These results highlight the importance of a balance in agronomic management to maximize both productivity and seed quality, ensuring sustainable, high-yield production.

**Keywords:** *Hordeum vulgare* L; lodging; growth regulators; physiological potential; vigor; nitrogen fertilizer; seed productivity.

#### 4.2 INTRODUÇÃO

O uso de sementes de alta qualidade fisiológica é fundamental para alcançar altas produções agrícolas, pois possibilita a emergência uniforme das plantas e estabelecimento um estande adequado no campo. A qualidade fisiológica das sementes, que inclui características como a taxa de germinação e o vigor, está intimamente ligada à nutrição das plantas durante o seu desenvolvimento. Uma planta bem nutrida, com acesso adequado a nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio, tende a produzir sementes de melhor qualidade, que possuem maior capacidade de germinação e vigor. Portanto, a disponibilidade de nutrientes suficientes para as plantas, desempenha um papel crucial na formação de sementes de alta qualidade, impactando diretamente o desempenho fisiológico das mesmas. Investir em sementes com boa qualidade fisiológica é, portanto, requisito básico para se obter adequado início de crescimento e alto potencial produtivo nas lavouras, já que sementes saudáveis resultam em plantas mais vigorosas e com maior potencial de rendimento de grãos (GOERGEN et al., 2018; MARCOS FILHO, 2006; MATOS; BORSOI, 2023).

Os nutrientes disponíveis no solo afetam diretamente a composição química das sementes. A deficiência de certos nutrientes pode resultar em sementes com menor teor de proteínas, lipídios, vitaminas e minerais essenciais, afetando assim sua qualidade fisiológica. Portanto, garantir uma adequada disponibilidade de nutrientes para as plantas é essencial para maximizar a qualidade das sementes (Mc MILLAN et al., 2020; SÁ, 1994).

A disponibilidade de nitrogênio (N) pode ter impacto significativo na qualidade das sementes de cevada (ARAÚJO et al., 2022). A quantidade de nitrogênio absorvida pela planta ao longo de seu ciclo de vida desempenha um papel crucial na determinação do teor proteico dos grãos ou sementes produzidos. Isso ocorre porque o N é um componente fundamental das proteínas, que por sua vez são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, bem como para a qualidade nutricional dos grãos produzidos (BARBOSA et al., 2022; PEREIRA, 2022)

Os avanços no entendimento da relação entre a aplicação de N e a qualidade de sementes da cevada têm sido significativos. Boero et al. (2022) investigaram a aplicação de N na antese em três locais comerciais na Argentina, utilizando doses de 20 kg ha<sup>-1</sup> e 40 kg ha<sup>-1</sup>, e observaram um aumento no teor de proteína das sementes sem afetar a senescência das folhas. Jemal (2022) avaliou a resposta do rendimento e a qualidade das sementes de cevada a diferentes doses de fertilização nitrogenada (0 kg ha<sup>-1</sup>, 50 kg ha<sup>-1</sup>, 100 kg ha<sup>-1</sup> e 150 kg ha<sup>-1</sup>) em três variedades de cevada (Traveler, Ibon e Local), concluindo que a aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N resultou no maior rendimento e qualidade das sementes. Klein (2018) estudou a eficiência nutricional de nitrogênio e o teor de aminoácidos e proteína em 18 genótipos de cevada cultivados com doses de 30 kg ha<sup>-1</sup> e 95 kg ha<sup>-1</sup>, destacando as cultivares BRS Brau, Cauê e Korbel, e as linhagens F e G como as mais responsivas ao N, quanto a qualidade de sementes. O estudo de Prazeres et al. (2016), realizado com milho, também revela que o teor de proteína nas sementes afeta sua germinação, mostrando que um teor proteico elevado pode comprometer o vigor das sementes, o que tem implicações relevantes para a cevada, pois sugere que o controle adequado da fertilização nitrogenada é essencial para garantir a qualidade da semente e o bom desempenho da germinação. Porém, quando o cultivo da cevada é realizado sob altas doses de nitrogênio, problemas como o acamamento das plantas são frequentes, o que interfere negativamente na produção e na qualidade fisiológica das sementes (EDNEY et al., 2012; PEREIRA, 2022; SUBEDI et al., 2021). Portanto, é importante encontrar um equilíbrio adequado entre as doses de nitrogênio aplicadas, as características da cultivar, as condições de crescimento e as práticas de manejo, a fim de minimizar o risco de acamamento e maximizar tanto a produção quanto a qualidade das sementes. Isso pode envolver a seleção de cultivares mais tolerantes ao acamamento, o uso de práticas de manejo específicas e a implementação de medidas preventivas para reduzir os riscos associados a esse problema.

Quando as plantas de cevada estão acamadas, isso pode afetar a fotossíntese, a absorção de nutrientes e a translocação de nutrientes para as sementes em desenvolvimento. Isso pode resultar em uma diminuição na qualidade das sementes, incluindo uma redução na

concentração de proteínas, que está relacionada diretamente com o vigor das mesmas. O'Donovan et al. (2012) estudando o efeito de densidade de semeadura na cultura da cevada no Canadá, observaram que o acamamento interferiu negativamente na concentração de proteínas nas sementes de cevada.

Nesse contexto, tornou-se prática comum na agricultura o uso de reguladores de crescimento, especialmente em cultivos de cereais como a cevada, para o controle do acamamento e para melhorar a estabilidade das plantas (TEIXEIRA; RODRIGUES, 2003). Além de reduzir os riscos de acamamento e melhorar a estabilidade das plantas, esses reguladores podem ter efeitos indiretos na arquitetura da planta e na partição de assimilados, favorecendo a formação e qualidade das sementes. Isso pode se revelar uma estratégia importante não apenas para evitar o acamamento, mas também para promover sementes com alta qualidade fisiológica, independentemente da ocorrência do acamamento (MC MILLAN et al., 2020; TIDEMANN et al., 2020).

Kaspary et al. (2015), ao estudarem o efeito de diferentes doses de trinexapaque-etílico (TE) em plantas de aveia branca, mostraram que a massa de mil sementes sob a dose de 150 g ha<sup>-1</sup> foi equivalente à da testemunha sem TE. Por outro lado, Subedi et al. (2021), também avaliando a massa de mil sementes, mas em três cultivares de cevada, observaram redução dessa característica comparado ao controle, porém não observaram diferença significativa para teor de proteína na semente, o que indica que o TE pode não ter um efeito consistente na qualidade das sementes em todas as cultivares. Ainda para a cultura da cevada com a utilização do TE, Mc Millan et al. (2020) observaram efeitos positivos na qualidade fisiológica de sementes. Por fim, Bazzo et al. (2018) observaram que aplicação do TE reduz o vigor de sementes das cultivares de aveia branca IPR Afrodite e IPR Artemis produzidas em Londrina e Mauá da Serra, respectivamente.

Esses resultados destacam a importância de considerar diversos fatores, como dose do regulador de crescimento, cultivar, condições ambientais e práticas de manejo, ao avaliar os efeitos dos reguladores de crescimento na produção e na qualidade das sementes. Além disso, ressaltam a necessidade de mais pesquisas para entender melhor os efeitos dos reguladores de crescimento e desenvolver estratégias de uso mais eficazes e consistentes na produção de sementes de cereais.

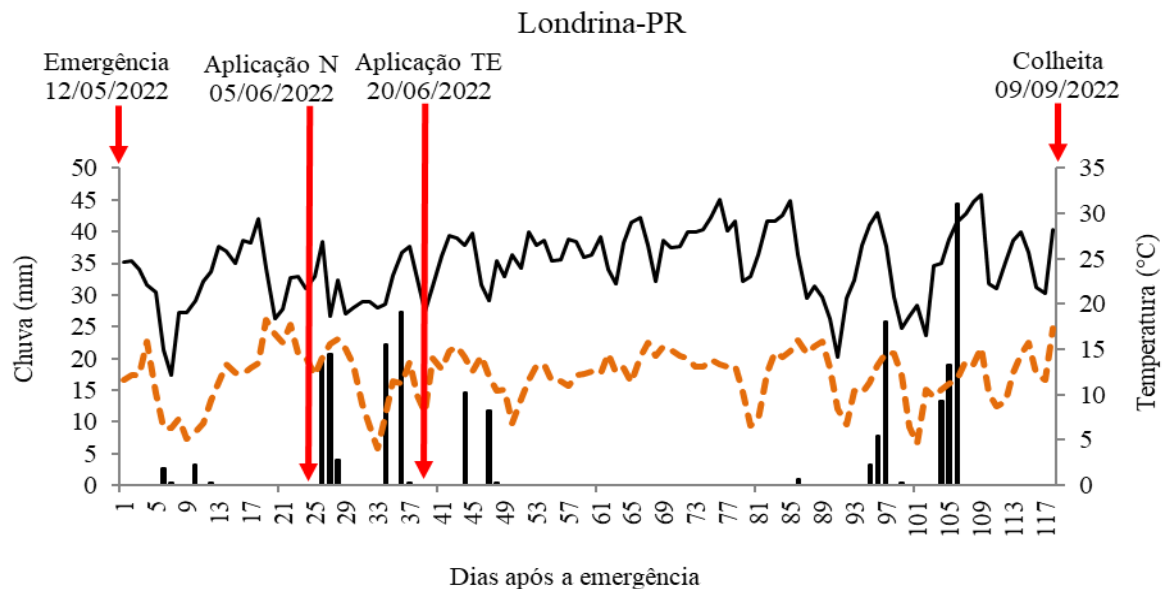
Há escassez de estudos que abordem os efeitos da aplicação de reguladores de crescimento e adubação nitrogenada de cobertura sobre a qualidade fisiológica das sementes de cevada. Essa lacuna na pesquisa ressalta a necessidade de realizar estudos mais abrangentes e específicos sobre esse assunto.

Neste sentido, objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes de cevada cultivada sob diferentes doses de nitrogênio em cobertura, associadas ao regulador de crescimento trinexapaque-etílico em dois ambientes de cultivo.

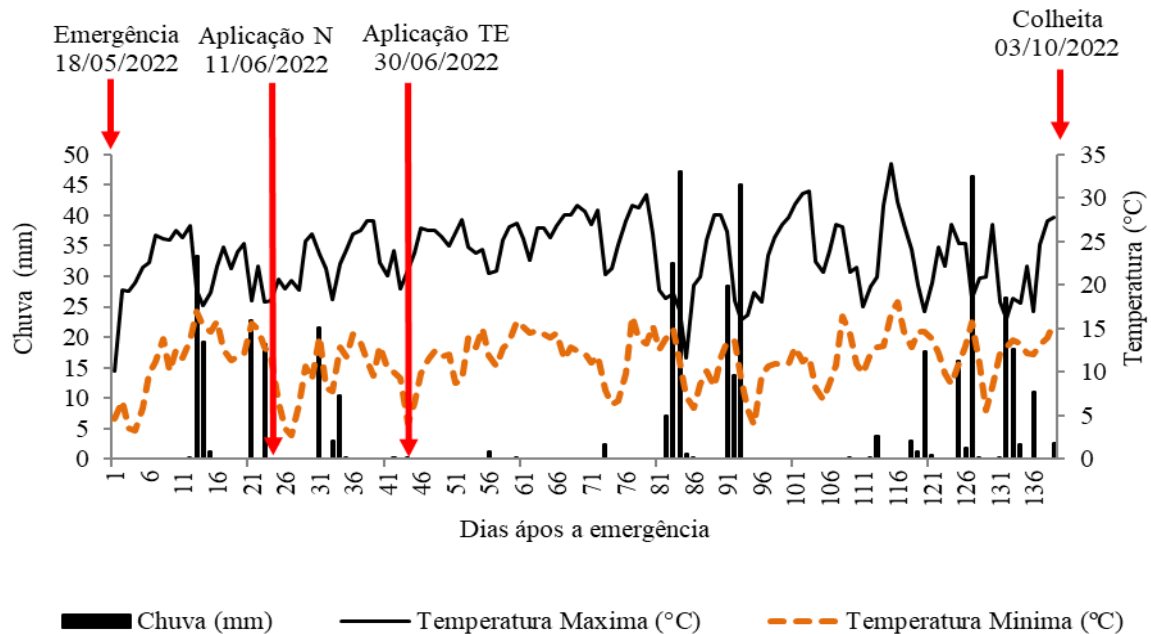
#### 4.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na safra 2022 em dois ambientes. O primeiro no município de Londrina-PR, na Estação Experimental do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná) em Latossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2018) localizado nas seguintes coordenadas geográficas: 23°23' S e 51°11' O e altitude de 610 m, o clima da região é do tipo Cfa, descrito como subtropical úmido, segundo classificação de Köpen. O segundo foi no município de Mauá da Serra-PR, na Fazenda Estância 3M, em Latossolo Vermelho distroférrico localizado nas seguintes coordenadas geográficas: 23°58' S e 51°19' W e altitude de 847 m, o clima da região é do tipo Cfb, descrito como temperado mesotérmico, segundo classificação de Köpen (EMBRAPA, 2018). As temperaturas máximas e mínimas e a precipitação pluviométrica durante a condução do experimento são apresentadas na Figura 6.

**Figura 6** - Dados médios diários de temperatura e precipitação pluvial para os períodos de condução dos experimentos em Londrina-PR e Mauá da Serra-PR.



## Mauá da Serra -PR



As características químicas do solo, nas profundidades de 0-20 cm, foram determinadas antes da instalação dos experimentos. Sendo, em Londrina-PR, representadas por: pH (CaCl<sub>2</sub>) 4,80; 0,16 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H + Al<sup>3+</sup>; 4,45 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup>; 1,56 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>2+</sup>; 0,68 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>; 33,3 mg dm<sup>-3</sup> de P e 16,40 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica; em Mauá da Serra-PR, por: pH (CaCl<sub>2</sub>) 5,12; 0,13, cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H + Al<sup>3+</sup>; 6,80 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup>; 1,68 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>2+</sup>; 0,57 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>; 36,04 mg dm<sup>-3</sup> de P e 29,96 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica.

No experimento foi avaliada a cultivar de cevada BRS Cauê desenvolvida pelo programa de melhoramento genético da EMBRAPA Trigo, em parceria com a AmBev e a Cooperativa Agrária Agroindustrial e lançada no ano de 2008. Essa cultivar apresenta ciclo médio (tempo médio para a maturação 125 dias), moderada resistência ao acamamento e estatura média de 80 cm.

A semeadura foi realizada nos municípios de Londrina e Mauá da Serra no sistema de plantio direto, em sucessão ao cultivo da soja, nos dias 05/05/2022 e 11/05/2022, com emergência em 12/05/2022 e 18/05/2022 e colheita em 09/09/2022 e 03/10/2022 respectivamente. A adubação de base foi constituída da aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de NPK, fórmula 10-30-10 na semeadura.

As unidades experimentais foram compostas por parcelas de 6 linhas de 5m, com espaçamento de 17cm, e com densidade de 350 sementes viáveis  $m^{-2}$ , considerando-se como área útil as 4 linhas centrais da parcela.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro doses de N em cobertura (0, 25, 50 e 75 kg  $ha^{-1}$ ); com e sem a aplicação de TE. A adubação de cobertura foi realizada a lanço na fase do perfilhamento, na forma de ureia (45% de N). Já a aplicação do regulador de crescimento foi feita durante o período de alongação do colmo, entre o 1º e 2º nó perceptível. Para o tratamento com regulador de crescimento foi utilizada a dose de 125 g i.a  $ha^{-1}$ , correspondente a 500 ml  $ha^{-1}$  do produto comercial Moddus®, aplicado por meio de pulverizador costal à pressão constante de 30 lb  $pol^{-2}$ , pressurizado por CO<sub>2</sub> comprimido, munido de duas pontas com bicos de jato plano “leque” XR 110-020, com volume de calda proporcional a 200 L  $ha^{-1}$ .

Os tratamentos fitossanitários para o controle de doenças e os demais tratos culturais foram realizados conforme a necessidade e recomendações para a cultura.

A colheita foi realizada após os grãos atingirem a maturação de colheita, estágio caracterizado pelo endurecimento da cariopse, plantas com aspecto seco e grãos com umidade abaixo de 20%. Após a limpeza das sementes colhidas das parcelas, foram determinados os seguintes parâmetros relacionados à produtividade e à qualidade fisiológica das sementes:

- ✓ Produtividade de sementes (PROD): foi determinada pela colheita das sementes das plantas contidas na área útil da parcela. Após a trilhagem mecânica, as sementes foram pesadas e os dados transformados em kg  $ha^{-1}$  a 13% de umidade;
- ✓ Massa de mil sementes (MMS): foi obtida mediante a contagem e pesagem de oito repetições de 100 sementes por parcela. A média desses valores foi multiplicada por 10 para obtenção do valor da massa de mil sementes (BRASIL, 2009);
- ✓ Germinação (G): foi realizada com oito repetições de 50 sementes, em papel toalha germitest® umedecido com água destilada, na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato. Os rolos de papel foram mantidos em germinador sob temperatura de 20 °C. A avaliação constou de duas contagens, aos cinco (primeira contagem - PC) e aos dez dias (segunda contagem) após a instalação do teste, computando-se a porcentagem de plântulas normais;
- ✓ Envelhecimento acelerado (EA): foi realizado com quatro repetições em caixas tipo gerbox, com compartimento individual contendo 40 mL de água em seu interior, e uma tela de alumínio, sobre a qual foram distribuídas uniformemente 240 sementes por

gerbox. As caixas foram mantidas em câmara de envelhecimento acelerado, a 42 °C, durante 48 horas (MARCOS FILHO, 1999). Decorrido esse período, foi instalado o teste de germinação sob temperatura de 20 °C. A contagem do número de plântulas normais foi realizada após cinco dias da sementeira (BRASIL, 2009);

- ✓ Comprimento de plântulas (CP): foi realizada a partir da sementeira de quatro repetições de 20 sementes, no terço superior da folha de papel germitest<sup>®</sup>, umedecido com água destilada, na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos de papel contendo as sementes permaneceram por cinco dias em germinador, à temperatura de 20 °C, quando então avaliou-se o comprimento das plântulas normais, com auxílio de uma régua milimetrada. O comprimento médio das plântulas foi obtido somando-se as medidas de cada repetição e dividindo-se pelo número de plântulas normais, sendo os resultados expressos em centímetros;
- ✓ Massa seca de plântulas (MSP): foi conduzido juntamente com o teste de comprimento de plântulas. Após ser realizada a medição das plântulas normais, no teste de comprimento de plântulas, estas foram cortadas e separadas do restante das sementes (tecido de reserva). As plântulas normais foram separadas e colocadas em sacos de papel e levadas à estufa com circulação de ar forçada, regulada à temperatura de 80 °C, durante 24 horas (NAKAGAWA, 1999). Ao final desse período, a massa seca foi avaliada em balança com precisão de 0,0001 g, determinando-se assim a massa das plântulas normais. Os resultados foram expressos em mg por plântula;
- ✓ Emergência de plântulas em areia (EPA): o teste foi realizado com quatro repetições de 50 sementes por tratamento. A areia utilizada foi previamente lavada e, em seguida, levada a bandejas plásticas. Na sementeira, as sementes foram cobertas com uma camada de 3 cm de areia. O teste foi conduzido em casa de vegetação e a umidade mantida com irrigações de acordo com a necessidade da cultura. A avaliação do número de plântulas normais emergidas foi realizada no décimo quinto dia.

Os dados foram submetidos às análises de normalidade e homogeneidade dos erros e, em seguida, à análise de variância. A comparação entre os níveis de trinexapaque-etílico (com e sem aplicação) foi feita por meio do teste de média Tukey. Para as doses de nitrogênio, os dados foram analisados por regressão até o 2º grau, a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa computacional Genes (CRUZ, 2013).

## 4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância demonstrou variações significativas para as variáveis estudadas em Londrina e Mauá da Serra para a cultivar BRS Cauê. Para o ambiente Londrina foi observado efeito significativo para interação entre doses de N e aplicação do TE para as variáveis G, CP e MSP; enquanto para as variáveis PROD, PCG, EA e EPA houve efeito significativo isolado de doses de N e aplicação de TE; já para a variável MMS contatou-se efeito isolado de doses de N, sem influência da aplicação do TE (Tabela 3). Em Mauá da Serra, constatou-se efeito significativo para interação entre doses de N e aplicação do TE para a variável MSP; já para a variável MMG contatou-se efeito isolado de doses de N, sem influência da aplicação do TE; enquanto para as variáveis PROD, PCG, G, EA, CP e EPA foi observado efeito significativo apenas para TE (Tabela 3).

Em ambos os ambientes, todas as características avaliadas apresentaram coeficiente de variação inferior a 8,07%, indicando precisão experimental adequada (Tabela 3).

**Tabela 3** – Valores do quadrado médio da análise de variância e estimativa dos coeficientes de variação (CV) para oito características avaliadas na cultivar de cevada BRS Cauê, considerando diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022.

Local	Variável	QM					Média	CV (%)
		Bloco	Nitrogênio	Regulador	N x R	Resíduo		
Londrina	PROD	96903	192750*	704484*	13923 <sup>ns</sup>	93505	3834,3	7,97
	MMS	0,13	4,07*	9,57 <sup>ns</sup>	3,63 <sup>ns</sup>	1,71	39,27	3,32
	PCG	46,01	13,67 <sup>ns</sup>	924,05**	5,51 <sup>ns</sup>	4,48	77,75	3,73
	G	10,92	30,25 <sup>ns</sup>	612,51**	16,75*	4,34	89,38	2,41
	EA	8,88	72,38*	561,13**	4,54 <sup>ns</sup>	18,73	77,06	5,61
	CP	12,59	13,44 <sup>ns</sup>	52,02**	13,73*	1,43	26,65	4,48
	MSP	0,003	0,001 <sup>ns</sup>	0,02**	0,002*	0,003	0,26	6,75
	EPA	6,25	18,75 <sup>ns</sup>	480,51**	3,92 <sup>ns</sup>	9,65	91,25	3,4
Mauá da Serra	PROD	219745	610961 <sup>ns</sup>	3160098**	286137 <sup>ns</sup>	164679	5024,1	8,07
	MMS	0,19	4,26*	9,62 <sup>ns</sup>	3,84 <sup>ns</sup>	2,61	41,27	3,16
	PCG	25,25	7,41 <sup>ns</sup>	338,01**	4,58 <sup>ns</sup>	12,65	81,38	4,37
	G	54,83	12,51 <sup>ns</sup>	722,01**	8,67 <sup>ns</sup>	9,97	89,88	4,51
	EA	2,53	3,78 <sup>ns</sup>	215,28**	1,11 <sup>ns</sup>	8,44	80,09	3,63
	CP	11,12	14,23 <sup>ns</sup>	70,21**	4,22 <sup>ns</sup>	1,55	25,74	4,83
	MSP	0,001	0,006 <sup>ns</sup>	0,036**	0,002*	0,0002	0,25	5,93
	EPA	43,88	3,38 <sup>ns</sup>	496,13*	1,71 <sup>ns</sup>	8,95	92,69	4,23

\*/\*\*: significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; ns: não significativo;

Graus de liberdade: 3 (bloco); 3 (Nitrogênio); 1 (Regulador); 3 (D x R), 21 (resíduo). Variáveis: PROD: produtividade de sementes (kg ha<sup>-1</sup>); MMS: massa de mil sementes (g); PCG: primeira contagem da germinação (%); G: germinação (%); EA: envelhecimento acelerado (%); CP: comprimento de plântulas (cm); MSP: massa seca de plântulas (mg); EPA: emergência de plântulas em areia (%).

Durante todo o ciclo da cultura, em Londrina, a precipitação pluvial foi de 294 mm e, em Mauá da Serra, foi de 463 mm (Figura 6). Em ambos os locais de cultivo o volume pode ser considerado adequado ao desenvolvimento da cevada e a atuação do regulador de crescimento, que tem seu efeito minimizado em condições de deficiência hídrica (RODRIGUES et al., 2003; TIDEMANN et al., 2020). No entanto, a distribuição da precipitação foi desuniforme, especialmente durante a fase de maturação da cultura. É importante destacar que muitas regiões produtoras de cevada apresentam um padrão de precipitação anual que varia de 300 a 700 mm, embora essa variação possa ser ampla.

**Tabela 4** - Valores médios de oito características avaliadas na cultivar de cevada BRS Cauê, considerando “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022.

Variável <sup>1</sup>	Safra (Local)	Regulador de Crescimento	Média
PROD (kg ha <sup>-1</sup> )	Londrina-PR	Com	3772,6 A
		sem	3612,3 B
	Mauá da Serra-PR	Com	5337,7 A
		sem	4709,5 B
MMS (g)	Londrina-PR	Com	38,71 A
		sem	39,81 A
	Mauá da Serra-PR	Com	40,71 A
		sem	41,44 A
PCG (%)	Londrina-PR	Com	72,25 B
		sem	83,12 A
	Mauá da Serra-PR	Com	78,12 B
		sem	84,62 A
G (%)	Londrina-PR	Com	85,01 B
		sem	93,75 A
	Mauá da Serra-PR	Com	85,12 B
		sem	94,56 A
EA (%)	Londrina-PR	Com	72,87 B
		sem	81,25 A
	Mauá da Serra-PR	Com	77,51 B
		sem	82,68 A
CP (cm)	Londrina-PR	Com	25,37 B
		sem	27,92 A
	Mauá da Serra-PR	Com	24,26 B
		sem	27,22 A
MSP (g)	Londrina-PR	Com	0,23 B
		sem	0,29 A
	Mauá da Serra-PR	Com	0,21 B
		sem	0,29 A
EPA (%)	Londrina-PR	Com	87,37 B
		sem	95,12 A
	Mauá da Serra-PR	Com	88,75 B
		sem	96,62 A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

<sup>/1</sup> Variável: PROD: produtividade de sementes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); MMS: massa de mil sementes (g); PCG: primeira contagem da germinação (%); G: germinação (%); EA: envelhecimento acelerado (%); CP: comprimento de plântulas (cm); MSP: massa seca de plântulas (mg); EPA: emergência de plântulas em areia (%).

Em Londrina, a produtividade de sementes aumentou linearmente com o incremento das doses de nitrogênio (Figura 7A). Isso indica que doses mais altas de N resultam em maiores rendimentos de sementes, confirmando a importância desse nutriente no desenvolvimento da cevada. O nitrogênio é fundamental para o crescimento e a produtividade das plantas, pois é um dos principais componentes da clorofila e das proteínas, além de atuar em processos metabólicos essenciais como a fotossíntese e a síntese de aminoácidos (SOUZA et al., 2021). Estudos anteriores, como os de Oral, Kendal e Dogan (2018) e Pereira (2022), também concluíram que doses elevadas de N podem ser positivas para aumentar o rendimento de sementes na cultura da cevada. Esses autores destacam que o N favorece o desempenho produtivo de cereais, promovendo um aumento no crescimento vegetativo e na formação de grãos, além de melhorar a assimilação de carbono e a eficiência fotossintética, o que resulta em maior produção de biomassa e de sementes. Assim, o N é um nutriente crucial para o aumento da produtividade, principalmente em cereais como a cevada, que são altamente sensíveis às variações de disponibilidade desse nutriente.

A aplicação do TE resultou em aumento significativo na produtividade de sementes de cevada em comparação com a ausência do regulador de crescimento (Tabela 4). Em Londrina, a diferença de produtividade com a utilização do TE foi de  $160 \text{ kg ha}^{-1}$ . Em Mauá da Serra, a diferença foi ainda maior, com um incremento de  $628,24 \text{ kg ha}^{-1}$  na produtividade com a aplicação do TE. Esses resultados são consistentes com os achados de Amabile et al. (2004) e Tidemann et al. (2020), que também observaram aumento na produtividade de sementes com o uso de TE na cultura da cevada.

O aumento na produtividade observado com a aplicação do TE pode ser atribuído, em grande parte, à melhoria no desenvolvimento das plantas e à eficiência no uso dos nutrientes. Além disso, o TE influencia positivamente a arquitetura das plantas, promovendo uma estrutura mais robusta e resistente ao acamamento, o que contribui para um melhor aproveitamento dos recursos e maior produtividade (MURCIA, 2016).

Em resumo, a produtividade da cevada aumentou linearmente com o incremento das doses de nitrogênio em Londrina, e a aplicação do regulador de crescimento TE resultou em produtividades superiores tanto em Londrina quanto em Mauá da Serra. Esses efeitos positivos destacam a importância de manejar adequadamente tanto a fertilização

nitrogenada quanto o uso de reguladores de crescimento para maximizar o rendimento de sementes.

A aplicação do regulador de crescimento TE não influenciou significativamente a MMS em Londrina e Mauá da Serra. Neste sentido, Amabile et al. (2004), ao estudarem a aplicação de TE na cultura da cevada, observaram que de cinco cultivares estudadas, apenas a cultivar BRS 180 apresentou redução na MMS com a utilização do regulador. Subedi et al. (2021), também avaliando a massa de mil sementes de três cultivares de cevada, observaram redução dessa característica comparado ao controle, porém não observaram diferença significativa para teor de proteína na semente, o que indica que o TE pode não ter um efeito consistente na qualidade das sementes em todas as cultivares

As doses de N afetaram negativamente a MMS, com ajuste linear decrescente observado nas equações (Figuras 7C e D). Isso indica que o aumento das doses de N resultou em diminuição no peso das sementes.

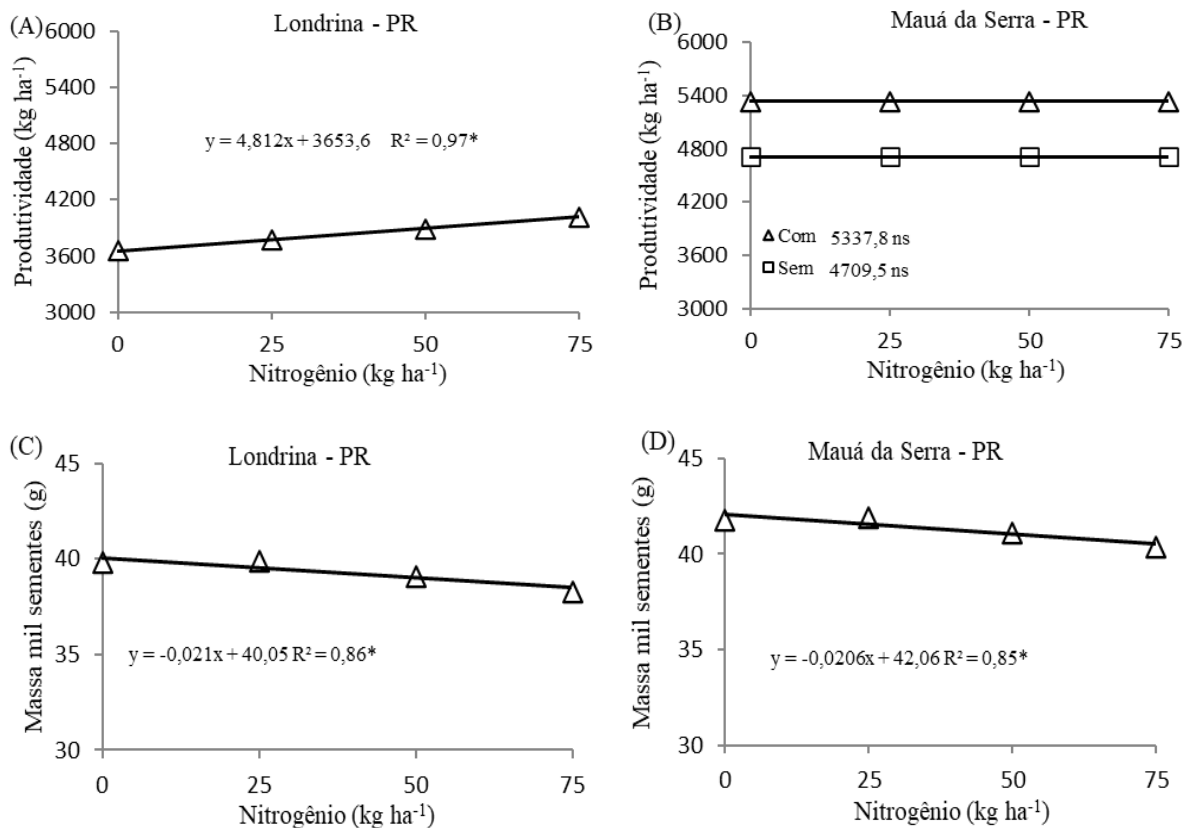
Sabe-se que a disponibilidade adequada de nitrogênio é fundamental para garantir o crescimento saudável e vigoroso da cultura da cevada, bem como para maximizar o peso e rendimento das sementes, porém quando o cultivo da cevada é realizado sob altas doses de nitrogênio, problemas como o acamamento das plantas são frequentes, o que interfere negativamente no peso das sementes (SUBEDI et al., 2021). Como apontado por Araújo et al. (2022) e Pereira (2022), o aumento das doses de nitrogênio na cultura da cevada pode resultar em um crescimento excessivo das plantas. Esse crescimento descontrolado pode contribuir para o fenômeno conhecido como acamamento. O acamamento pode ter efeitos negativos na produção e na qualidade das sementes, pois reduz a exposição das espigas à luz solar, prejudicando a fotossíntese e aumentando o risco de doenças e degradação das sementes.

A aplicação de doses crescentes de nitrogênio resultou em diminuição na massa de mil sementes, com ajustes lineares decrescentes observados nas equações; já a aplicação do regulador de crescimento TE não influenciou diretamente a MMS. De maneira similar, Subedi et al. (2021), também avaliando os efeitos da dose e do tempo de aplicação do TE em cereais de inverno, incluindo três cultivares de cevada, observaram redução da massa de mil sementes comparado ao controle, o que indica que o TE pode não ter um efeito consistente na qualidade das sementes em todas as cultivares.

Os efeitos negativos de altas doses de N na MMS podem ser atribuídos ao aumento do acamamento, que prejudica a exposição das espigas à luz solar e a eficiência da fotossíntese, além de aumentar os riscos de doenças e degradação das sementes. Além disso, vale lembrar que apesar de ter ocorrido redução da massa de mil sementes da cultivar BRS Cauê

na maior dose de N, houve aumento de produtividade de sementes em função da aplicação de TE. Sendo assim, outros componentes produtivos podem ter sido influenciados pela aplicação do regulador de crescimento. Com isso, a fertilização nitrogenada deve ser cuidadosamente manejada para evitar acamamento, possivelmente ajustando as doses para equilibrar a MMS e a produtividade total. Adicionalmente, a aplicação de TE pode ser uma prática vantajosa para aumentar a produtividade, especialmente em situações em que o acamamento é um risco devido a altas doses de N.

**Figura 7** - PROD: produtividade de sementes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); MMS: massa de mil sementes (g) da cultivar de cevada BRS Cauê, considerando diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022. <sup>ns</sup> e \* = não significativo e significativo a 5% de erro pelo teste-F.



A aplicação de doses crescente de nitrogênio não influenciou significativamente a variável primeira contagem de germinação (PCG), porém, observa-se em ambos os locais de cultivo, Londrina e Mauá da Serra, que a aplicação de TE afeta negativamente esta característica (Tabela 4). Em Londrina, a aplicação do regulador de crescimento resultou em uma redução de 10,87% na PCG em comparação com os tratamentos sem TE. Em Mauá da Serra, a redução foi menor, com 6,5% nas plantas tratadas com TE em comparação com aquelas sem o regulador (Tabela 4). Com isso, nota-se que aplicação do TE proporcionou sementes menos vigorosas na cultivar BRS Cauê. Esse resultado é consistente

com estudos anteriores que mostram que reguladores de crescimento podem efetivamente reduzir a primeira contagem de germinação, como por exemplo Kasparly et al. (2015) que observaram redução da primeira contagem de germinação e da germinação das sementes de aveia branca oriundas de plantas submetidas a doses crescentes de TE. Por outro lado, Koch et al. (2017) verificaram aumento da primeira contagem de germinação e germinação conforme doses crescentes de TE na cultivar de trigo OR Topázio, relacionando à melhor arquitetura das plantas e menor distância entre fonte-dreno.

A redução na PCG com a aplicação de TE indica que o regulador de crescimento pode comprometer o vigor das sementes. Esse efeito negativo pode ser resultado de mudanças fisiológicas nas plantas-mãe que afetam a qualidade das sementes produzidas. Embora o N não tenha impactado significativamente a PCG, o manejo combinado de N e TE deve ser otimizado para maximizar tanto a produtividade quanto a qualidade das sementes.

A qualidade fisiológica das sementes produzidas em Londrina a partir do uso de diferentes doses de N e aplicação do TE apresentou, de modo geral, redução linear da germinação de sementes (G) (Tabela 4 e Figuras 8A). Em ambos os locais de cultivo, a utilização do regulador de crescimento TE reduziu a germinação de sementes. Em Londrina observa-se 8,74% de redução na germinação. Em Mauá da Serra essa redução é ainda maior, 9,44% (Tabela 4). Esses resultados indicam que a aplicação de TE tem um impacto negativo na germinação das sementes da cultivar BRS Cauê. De maneira similar, Bazzo et al. (2018), ao avaliarem quatro cultivares de aveia branca sob a influência de TE ( $125 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ ), em dois ambientes de cultivo (Mauá da Serra e Londrina - PR), verificaram redução da germinação de sementes em todas as cultivares sob a aplicação de TE, no ambiente de Mauá da Serra.

No presente estudo, apesar da redução da germinação em função das doses de TE, nos dois locais de cultivo (Tabela 4), todos os tratamentos mantiveram-se dentro dos padrões mínimos de 80% de germinação para produção e comercialização de sementes de cevada (MAPA, 2013). Isso significa que, embora haja uma redução, a germinação ainda está dentro dos limites aceitáveis para a produção comercial. No entanto, a aplicação de TE deve ser avaliada com cautela, especialmente considerando seu impacto negativo na germinação. Embora todos os tratamentos tenham se mantido dentro dos padrões comerciais, a redução na germinação pode afetar a viabilidade das sementes em condições subótimas de armazenamento ou semeadura.

Analisando os resultados obtidos para o envelhecimento acelerado (EA) em Londrina (Figura 8C), verifica-se que o ajuste da equação foi de forma linear decrescente na germinação das sementes submetidas a este teste quando do uso de doses crescentes de

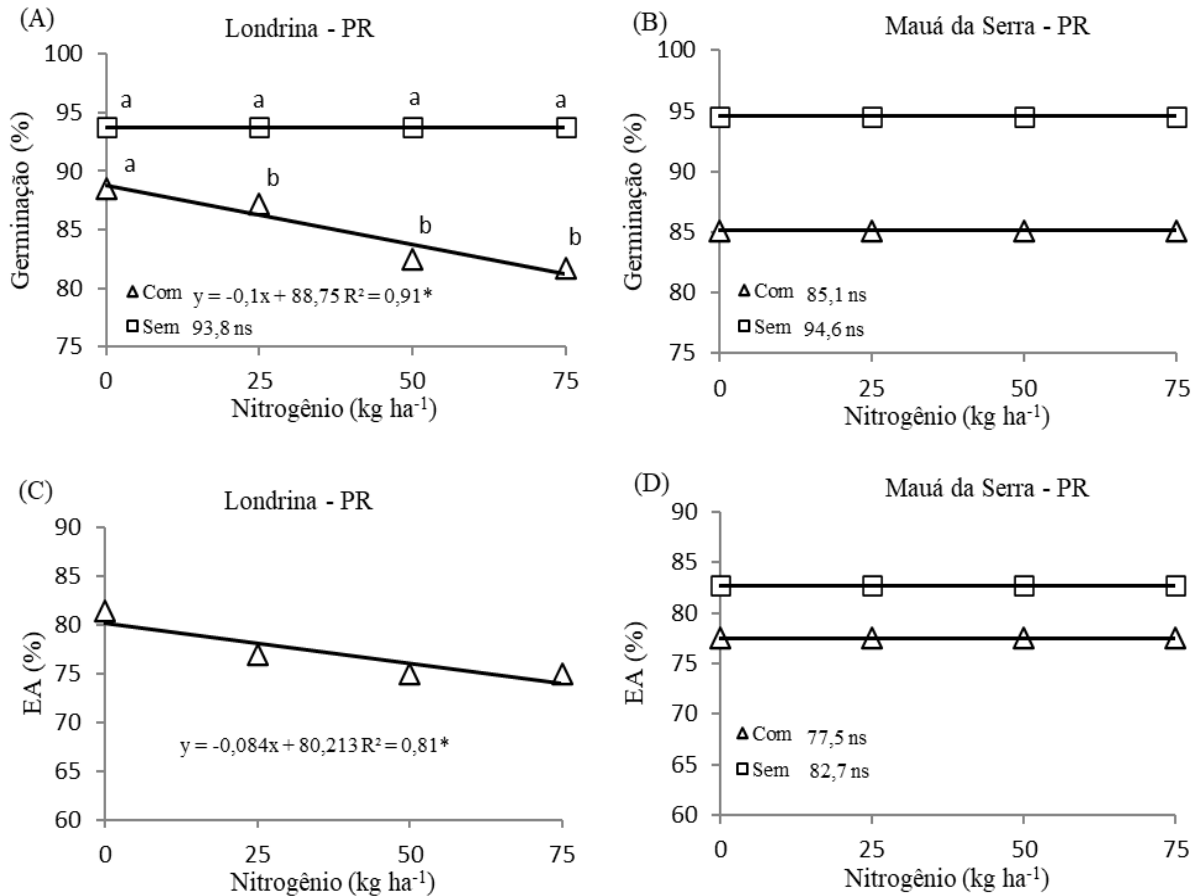
nitrogênio. Este resultado sugere que doses mais altas de N afetam negativamente a capacidade das sementes de manter sua viabilidade sob condições de estresse. O menor desempenho das sementes obtidas nos tratamentos com doses de N pode ser consequência do menor acúmulo de massa seca nas sementes. Como observado, a MMS em Londrina decresceu com o incremento das doses de N (Figura 7C). O que provavelmente está relacionado ao fenômeno conhecido como acamamento, que traz prejuízos ao enchimento das sementes. Fonseca, Troyjack e Roberto (2018) verificaram efeito significativo de doses de N em cobertura na germinação de sementes de cevada após o teste de envelhecimento acelerado. No referido estudo foi observado que doses crescentes de N influenciaram de forma negativa essa característica.

Ao relacionarmos a G com EA observamos o mesmo comportamento frente a aplicação do regulador de crescimento em Londrina e Mauá da Serra (Tabela 4). Em Londrina com a utilização do TE observa-se redução de 8,38% na germinação das sementes submetidas ao teste de envelhecimento acelerado. Já em Mauá da Serra essa redução é menor, 5,17%. Kaspariy et al. (2015), avaliando diferentes cultivares de aveia branca sob a influência do TE, também encontraram resultados semelhantes nas doses de 100 e 150 g ha<sup>-1</sup> de TE para o envelhecimento acelerado.

No teste de envelhecimento acelerado, observou-se que, nas localidades de Londrina e Mauá da Serra, a cultivar BRS Cauê, quando não tratada com TE, manteve-se com germinação superior a 80% (Tabela 4). Embora não exista um padrão específico para vigor, esses resultados indicam que as sementes mantiveram um bom desempenho mesmo sob condições de estresse. (Tabela 4). Neste teste as sementes são submetidas a condições de estresse (alta umidade e temperatura), e posterior avaliação de suas tolerâncias a essas condições, expressa pela germinação. Desse modo, consiste em uma forma de mensurar diferenças de vigor entre amostras, o potencial de armazenamento e de emergência de plântulas em campo (MARCOS FILHO, 2020). Portanto, além de prejudicar a germinação, a aplicação de TE prejudicou o vigor das sementes de cevada avaliadas no presente estudo.

Pelos resultados obtidos no presente estudo, pode-se inferir que o manejo com N na cultura da cevada deve ser equilibrado para evitar doses excessivas que possam comprometer o enchimento das sementes e, conseqüentemente, reduzir a capacidade destas manterem sua viabilidade sob condições de estresse. Da mesma forma, a adoção do uso do regulador de crescimento TE deve ser previamente avaliada, de forma a minimizar eventuais impactos negativos na germinação e no vigor das sementes, como os aqui observados.

**Figura 8** - G: germinação (%); EA: envelhecimento acelerado (%) de sementes da cultivar de cevada BRS Cauê, considerando diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022. <sup>ns</sup> e \* = não significativo e significativo a 5% de erro pelo teste-F.



O comprimento de plântulas (CP) em Londrina ajustou-se a uma função quadrática em relação às doses de N em cobertura, com o valor mínimo de 26,4 cm na dose estimada de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 9A). Este ajuste sugere que a partir da dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N ocorre o aumento do comprimento das plântulas. A aplicação de N até a dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> parece não ser suficiente para promover um crescimento significativo das plântulas, possivelmente devido à limitação do nutriente. Acima dessa dose, o aumento no comprimento de plântulas pode ser atribuído ao maior fornecimento de nitrogênio, essencial para o crescimento vegetativo. Brzezinski et al. (2014), ao avaliarem duas cultivares de trigo (BRS 220 e BRS Tangará), cultivadas com e sem inoculação de *Azospirillum* e cinco doses de N em cobertura (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup>), verificaram que o incremento das doses de N, para cultivar BRS Tangará, resultou no aumento do comprimento de parte aérea e de raiz das plântulas. Resultado discordante foi encontrado por Zucareli et al. (2012) que, analisando a qualidade fisiológica de sementes de milho doce provenientes de plantas cultivadas sob

diferentes doses e épocas de aplicação de N em cobertura, verificaram que o aumento das doses da adubação nitrogenada, no estágio vegetativo, reduziu o comprimento de parte aérea e de raiz de plântulas.

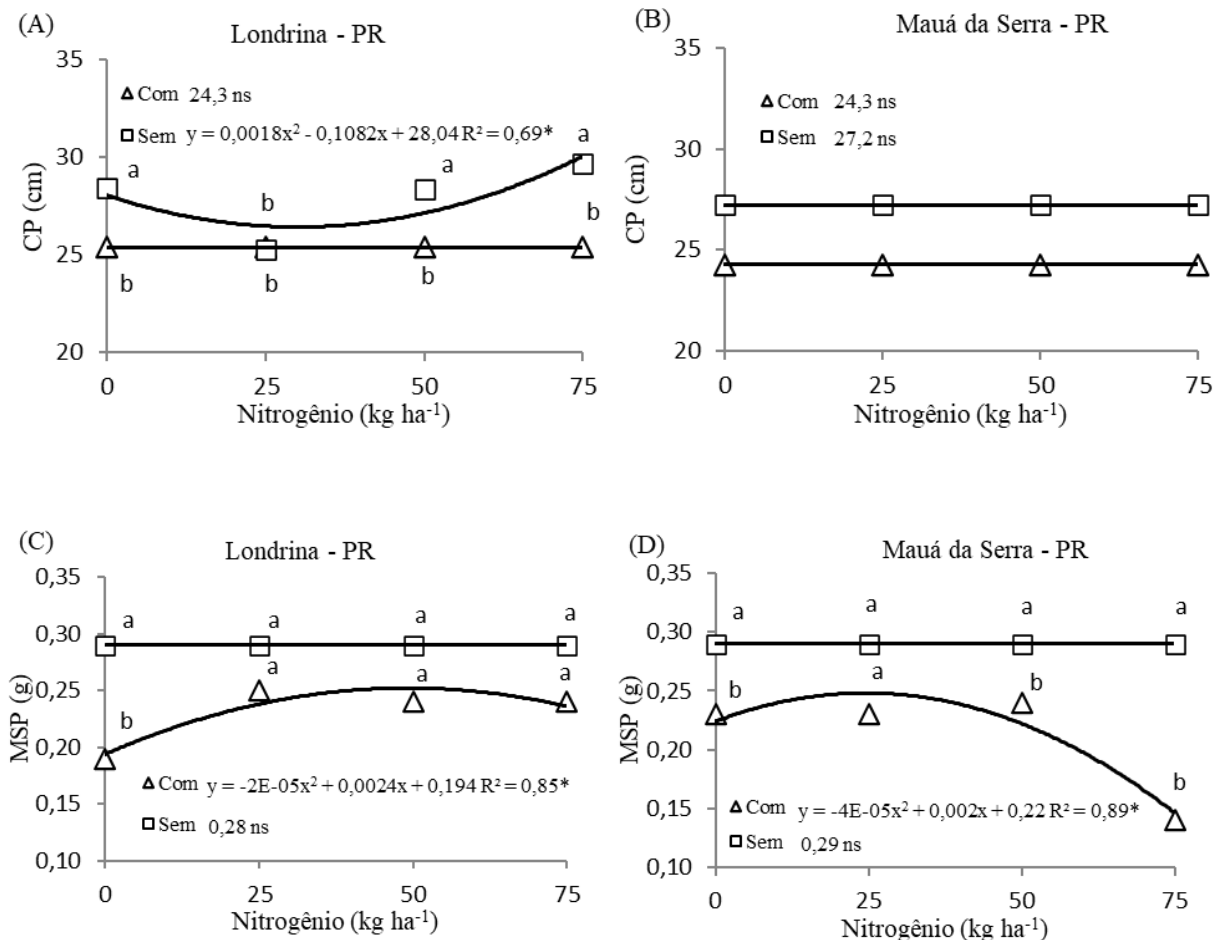
Por outro lado, o regulador de crescimento TE reduziu o comprimento de plântulas em ambos os locais (Tabela 4). Em média, foi obtida redução de 2,55 cm em Londrina; já em Mauá da Serra, a redução foi ainda maior, 2,96 cm. Esses resultados indicam que o TE influencia negativamente o crescimento das plântulas de cevada. Bazzo et al. (2018), ao avaliarem cultivares de aveia branca (IPR Afrodite, IPR Artemis, URS Corona e URS Guria) sob a influência de TE (125 g i.a. ha<sup>-1</sup>), em dois ambientes de cultivo (Mauá da Serra e Londrina - PR), verificaram redução do comprimento de plântulas na cultivar IPR Afrodite sob a aplicação de TE, em Mauá da Serra.

Embora a redução no comprimento das plântulas possa ser vantajosa em algumas situações, como para evitar o acamamento, é importante avaliar como isso afeta o estabelecimento inicial da cultura e seu desenvolvimento futuro. O ideal é encontrar um equilíbrio entre os benefícios da fertilização nitrogenada e o uso de reguladores de crescimento, garantindo que o crescimento das plântulas seja saudável e que a cultura da cevada se desenvolva adequadamente.

A massa seca de plântulas (MSP) sob doses de N em cobertura e aplicação do regulador de crescimento ajustou-se a uma função quadrática em ambos os locais de cultivo (Figura 9C e D). Em Londrina o ponto de máximo valor (0,26 g) foi estimado na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N. A dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N parece ser a quantidade ideal para maximizar a MSP em Londrina, indicando que doses menores ou maiores podem não fornecer a quantidade adequada de nutrientes para um crescimento ótimo. Doses muito altas de nitrogênio, por exemplo, podem levar a um desequilíbrio nutricional, prejudicando a absorção de outros nutrientes essenciais e comprometendo o desenvolvimento das plântulas. Por outro lado, em Mauá da Serra o ponto de máximo valor (0,25 g) foi estimado na dose de 25 kg ha<sup>-1</sup> de N. Em Mauá da Serra, a dose ótima de N para MSP é significativamente menor do que em Londrina, sugerindo que as condições ambientais e edáficas diferentes requerem ajustes nas práticas de manejo. Bazzo et al. (2018), trabalhando com TE na qualidade fisiológica de sementes de diferentes cultivares de aveia branca, encontraram resultados que corroboram o deste estudo, onde o TE influenciou de forma negativa a MSP. Kappes et al. (2012), também trabalhando com TE, não encontraram resposta significativa desta prática de manejo sobre a massa seca de plântulas de crotalária. Entretanto, quando analisada a biomassa fresca de plântulas, os autores verificaram que com o aumento das doses do produto ocorre uma redução de maneira linear nos valores desta

característica, indicando que o acúmulo de massa fresca de plântulas de crotalária pode ser prejudicado com a utilização desta técnica de manejo.

**Figura 9** - CP: comprimento de plântulas (cm); MSP: massa seca de plântulas (mg) da cultivar de cevada BRS Cauê, considerando diferentes doses de nitrogênio e “com e sem” a aplicação de trinexapaque-etílico. Londrina-PR e Mauá da Serra-PR, safra 2022. <sup>ns</sup> e \* = não significativo e significativo a 5% de erro pelo teste-F.



Com relação à emergência de plântulas em areia (EPA), observou-se uma redução na porcentagem de plântulas emergidas com a utilização do regulador de crescimento em ambos os locais de cultivo (Tabela 4). Em Londrina, a redução foi de 7,75%, e em Mauá da Serra, de 7,87%. Embora tenha ocorrido essa diminuição, os valores de emergência de plântulas permaneceram acima do padrão mínimo de 80% exigido para o teste de germinação em condições controladas, conforme as normas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2013). Cabe destacar que a emergência de plântulas em areia é um teste de vigor e pode apresentar variações em comparação ao teste de germinação, que avalia a qualidade das sementes sob condições ideais.

A redução da qualidade fisiológica das sementes de cevada em função da utilização do TE verificadas no presente estudo pode ser explicada pelo fato de que a aplicação do produto é feita na fase de alongamento do colmo, na qual também está ocorrendo a diferenciação e formação dos órgãos reprodutivos nas espigas que estão se formando dentro dos colmos. Dessa forma, a inibição da giberelina ativa, causada pelo TE, pode ter afetado o desenvolvimento dessas estruturas e, com isso, das sementes produzidas, resultando assim em sementes com menor potencial fisiológico.

Os estudos que relacionem a utilização do TE com variáveis como germinação, envelhecimento acelerado, comprimento de plântulas, massa seca de plântulas e emergência de plântulas em areia na cultura da cevada são escassos. No entanto, há evidências que demonstram o efeito negativo do TE no teor de proteína das sementes de cevada (AMABILE et al., 2004; Mc MILLAN et al., 2020; SUBEDI et al., 2021; TIDEMANN et al., 2020). Sabe-se que o teor de proteína está relacionado com a qualidade fisiológica das sementes, a qual influencia diretamente na germinação e vigor das mesmas (FONSECA; TROYJACK; ROBERTO, 2018). Adicionalmente, Edney et al. (2012) observaram, ao trabalharem com cevada, que para alguns materiais, o aumento da adubação nitrogenada promove o aumento no teor de proteína, conseqüentemente melhorando o vigor das sementes. Portanto, é possível notar que esses trabalhos vão ao encontro dos resultados encontrados no presente estudo, onde o TE influenciou negativamente a germinação e o vigor das sementes da cultivar BRS Cauê.

Em relação aos locais de cultivo, observando as médias obtidas, foi possível verificar que Mauá da Serra produziu sementes com melhor desempenho nos testes de vigor, como primeira contagem, comprimento de plântulas, massa seca de plântulas, envelhecimento acelerado e emergência de plântulas em areia, em comparação com Londrina. Esse comportamento pode estar relacionado às condições climáticas e de altitude de cada região. Mauá da Serra, situada a aproximadamente 847 metros acima do nível do mar, possui um clima subtropical úmido com temperaturas mais amenas e maior amplitude térmica diária, fatores que favorecem o desenvolvimento da cevada. Além disso, a maior intensidade de chuvas durante o período de enchimento de grãos em Mauá da Serra (Figura 6) pode ter contribuído para a melhor qualidade das sementes. Em contraste, Londrina, com uma altitude de cerca de 610 metros, apresenta temperaturas mais altas e menor intensidade de chuvas, o que pode aumentar o estresse térmico e afetar negativamente a qualidade das sementes. Essas diferenças climáticas e de altitude ajudam a explicar a superioridade das sementes produzidas em Mauá da Serra.

De acordo com Marcos Filho (2005), a disponibilidade de água durante o período de transferência de matéria seca para as sementes é importante, pois reduz a

probabilidade da formação de sementes defeituosas, cujo desempenho é severamente prejudicado. Outra explicação para o maior vigor de sementes observado em Mauá da Serra em relação à Londrina deve-se ao fato do solo de Mauá da Serra apresentar maior teor de matéria orgânica. A matéria orgânica além de melhorar as condições físicas do solo, aumentar a infiltração de água e diminuir as perdas por erosão, é capaz de fornecer nutrientes para as plantas, principalmente o nitrogênio (POTAFÓS, 1998).

De forma geral, a análise abrangente dos resultados indica que tanto as doses de nitrogênio, quanto a aplicação do regulador de crescimento TE exercem influência significativa sobre diversas características agrônômicas e fisiológicas da cultivar BRS Cauê, cultivada nos ambientes contrastantes representados por Londrina e Mauá da Serra.

Com relação às doses de N, observou-se efeito positivo no aumento da produtividade de sementes em Londrina, com comportamento linear ascendente. No entanto, para características como massa de mil sementes, envelhecimento acelerado, exceto o teste de comprimento de plântulas em Londrina, o qual foi influenciado positivamente pela utilização do N, as doses mais elevadas de N resultaram em reduções, indicando a necessidade de equilibrar a fertilização para evitar efeitos adversos sobre a qualidade das sementes. Quanto ao TE, constatou-se aumento significativo na produtividade de sementes em ambos os locais de cultivo, porém, acompanhado de reduções na qualidade fisiológica das sementes, conforme evidenciado pela redução na germinação e na emergência de plântulas em areia. Isso sugere a importância de um manejo cuidadoso do regulador para minimizar seus efeitos negativos sobre a qualidade das sementes.

A análise detalhada das respostas da cultivar BRS Cauê às diferentes práticas de manejo destaca a necessidade de uma abordagem integrada, considerando não apenas o aumento da produtividade, mas também a preservação da qualidade das sementes. A adaptação das práticas de manejo às condições específicas de cada ambiente de cultivo é fundamental para otimizar os resultados e garantir uma produção sustentável e de alta qualidade.

Esses resultados enfatizam a importância de considerar diversos fatores, como dose do regulador de crescimento, a cultivar utilizada, condições ambientais e práticas de manejo ao avaliar os efeitos dos reguladores de crescimento na produção e na qualidade das sementes. Além disso, destacam a necessidade de mais pesquisas para compreender melhor os impactos dos reguladores de crescimento, as causas do efeito negativo sobre o potencial fisiológico de sementes, de modo a se desenvolver estratégias de uso mais eficazes e consistentes na produção de sementes de cereais. Este estudo ressalta ainda a escassez de pesquisas na cultura da cevada que explorem a interação entre o uso de nitrogênio e o TE.

#### 4.5 CONCLUSÃO

A aplicação de nitrogênio demonstrou impacto positivo na produtividade de sementes, com aumento significativo observado apenas em Londrina. No entanto, o aumento das doses de nitrogênio também resultou em efeitos adversos na qualidade fisiológica das sementes, como redução no vigor e na germinação, comprometendo a qualidade final das sementes, o que foi evidenciado pela diminuição da massa de mil sementes e pela aceleração do envelhecimento das sementes. Em relação ao regulador de crescimento TE, sua aplicação levou a aumento na produtividade, mas, de maneira similar, teve efeito negativo na qualidade das sementes, resultando em redução da germinação e do vigor em ambos os locais de cultivo, Londrina e Mauá da Serra.

#### 4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMABILE, R. F.; MINELLA, E.; VALENTE, C. M. W.; DA SERRA, D. D. **Efeito do regulador de crescimento trinexapac-etil em cevada cervejeira irrigada em áreas de cerrado do Distrito Federal**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, EMBRAPA, Planaltina, DF, 2004.
- ARAÚJO, B. O. N.; ZULLI, F. S.; BORGES, E. G.; MONTEIRO, M. A.; ROLIM, J. M.; MEDEIROS, L. B.; AUMONDE, T. Z. Growth and physiological performance of barley plants produced under nitrogen management. **Ingeniería e Investigación**, v. 4, n. 2, p. 891-16, 2022.
- BARBOSA, B. S.; MEDEIROS, L. B.; DA SILVA, F. L.; FONSECA, L. L.; MARTINAZZO, E. G.; CARLOS, F. S.; PEDÓ, T. Doses de nitrogênio em cevada: rendimento e qualidade de sementes. **Revista Thema**, v. 21, n. 2, p. 402-414, 2022.
- BAZZO, J. H. B.; RIEDE, C. R.; ARRUDA, K. M. A.; BARBOSA, A. P.; FONSECA, I. C. D. B.; ZUCARELI, C. Trinexapac-ethyl and topdressing nitrogen levels on the productivity and physiological quality of graniferous white oat seeds. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 3, p. 263-271, 2018.
- BOERO, J. J.; BOEM, F. G.; PRYSTUPA, P.; VELIZ, C. G.; CRIADO, M. V.; GÓMEZ, F. M.; CAPUTO, C. Nitrogen application at anthesis increases barley grain protein by enhancing phloem amino acid mobilisation. **Crop and Pasture Science**, v. 74, n. 4, p. 312-323, 2022.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009.
- BRZEZINSKI, C. R.; ZUCARELI, C.; HENNING, F. A.; ABATI, J.; PRANDO A. M.; HENNING, A. A. Nitrogênio e inoculação de *Azospirillum* na qualidade fisiológica e sanitária de sementes de trigo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 3, p. 257-265, 2014.
- EDNEY, M. J.; O'DONOVAN, J. T.; TURKINGTON, T. K.; CLAYTON, G. W.; MCKENZIE, R.; JUSKIW, P.; MAY, W. Effects of seeding rate, nitrogen rate and cultivar on barley malt quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 13, p. 2672-2678, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2018.

FONSECA, L. L.; TROYJACK, C.; ROBERTO, J. Performance fisiológica de diferentes genótipos de cevada submetidas a diferentes doses de adubação nitrogenada. In: XXVII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4º Semana Integrada, 15., 2018. Pelotas. **Anais...** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, RS, 2018. Disponível em: [https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2018/CA\\_01684.pdf](https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2018/CA_01684.pdf). Acesso em: 17 jan. 2025.

GOERGEN, N.; CEOLIN, G. M.; DA SILVA, V. R.; KULCZYNSKI, S. M. Qualidade fisiológica de sementes de culturas de inverno tratadas com zinco. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 24, n. 1/2, p. 23-31, 2018.

JEMAL, K. Yield Response and barley grain quality to nitrogen fertilization in West Arsi highland of Ethiopia. **Global Academy Journal of Agricultural Biosciences**, v. 4, p. 52-62, 2022.

KAPPES, C.; ARF, O.; SÁ, M. E.; FERREIRA, J. P.; PORTUGAL, J. R.; ALCALDE, A. M.; VILELA, R. G. Reguladores de crescimento e seus efeitos sobre a qualidade fisiológica de sementes e crescimento de plântulas de crotalaria. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 2, p. 180-190, 2012.

KASPARY, T. E.; LAMEGO, F. P.; BELLÉ, C.; KULCZYNSKI, S. M.; PITTOL, D. Regulador de crescimento na produtividade e qualidade fisiológica de sementes de aveia branca. **Planta Daninha**, v. 33, n. 4, p. 739-750, 2015

KLEIN, C. B. **Eficiência nutricional, aminoácidos na planta e proteína de grão de genótipos de cevada**. 2018. 68 f. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2018.

KOCH, F.; ZIMMER, G.; MONTEIRO, M. A.; MARTINS, A. C.; DELIAS, D. S.; TROYJACK, C.; SZARESKI, V. J.; BORGES, E. G.; PEDÓ, T.; AMARANTE, L.; VILLELA, F. A. E 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.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 45, 402 de 17 de setembro de 2013: Anexo XXIII**. Brasília: D.O.U, p. 38, 2013.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes**. 12. ed. Piracicaba: Fealq, 2005.

MARCOS FILHO, J. **Potencial fisiológico determina qualidade de sementes**. In: Visão Agrícola, Piracicaba, SP. 2006. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va05-sementes01.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2025.

MARCOS FILHO, J. **Testes de vigor: importância e utilização**. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 1-21.

MARCOS FILHO, J. **Teste de envelhecimento acelerado**. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, J. (eds.). **Vigor de sementes: Conceitos e Testes**. Londrina: ABRATES, Cap. 4, p. 185-246, 2020.

MATOS, V. F.; BORSOI, A. Produtividade cultivares de cevada em diferentes populações de plantas em Cascavel/PR. In: CITY FARM FAG, 3º Edição, 18., 2023. Cascavel. **Anais...**

- Cascavel: FAG Centro Universitário de Cascavel, PR, 2023. Disponível em: <https://cityfarm.fag.edu.br/assets/documentos/anais/2023/PRODUTIVIDADE%20CULTIVARES%20DE%20CEVADA%20EM%20DIFERENTES%20POPULA%C3%87%C3%95ES%20DE.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2025.
- Mc MILLAN, T.; TIDEMANN, B. D.; O'DONOVAN, J. T.; IZYDORCZYK, M. S. Effects of plant growth regulator application on the malting quality of barley. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 5, p. 2082-2089, 2020.
- MURCIA, G. J. A. **Ação de reguladores vegetais em trigo (*Triticum aestivum* L.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.)**. 2016. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 2016.
- NAKAGAWA, J. **Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas**. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B.; NAKAGAWA, J. (eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, p. 2.1-2.21, 1999.
- O'DONOVAN, J. T.; TURKINGTON, T. K.; EDNEY, M. J.; JUSKIW, P. E.; MCKENZIE, R. H.; HARKER, K. N.; SMITH, E. Effect of seeding date and seeding rate on malting barley production in western Canada. **Canadian journal of plant science**, v. 92, n. 2, p. 321-330. 2012.
- ORAL, E.; KENDAL, E.; DOGAN, Y. Influence of nitrogen fertilization levels on grain yield and its components in barley (*Hordeum vulgare* L.). **Agriculture & Forestry**. v. 64, n. 2, p. 43-63, 2018.
- PEREIRA, L. E. **A importância da fertilização nitrogenada na cultura da cevada**. 2022. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Instituição Anhanguera, Passo Fundo, RS, 2022.
- POTAFÓS. Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2.ed. Piracicaba: Potafós, 1998.
- PRAZERES, C. S.; COELHO, C. M. M.; ARALDI, C. G.; SOUZA, C. A. Qualidade fisiológica e teor de proteínas solúveis em sementes de milho durante o processo de germinação. In: XXXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, XXXI CNMS, 2016, Bento Gonçalves, **Anais...** Bento Gonçalves: Universidade Federal de Pelotas, RS, 2016. Disponível em: [https://www.abms.org.br/cnms2016\\_trabalhos/docs/958.pdf](https://www.abms.org.br/cnms2016_trabalhos/docs/958.pdf). Acesso em: 17 jan. 2025.
- RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; TEIXEIRA, M. C. C.; ROMAN, E. S. **Redutores de crescimento**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 18 p. (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico, 14), 2003.
- SÁ, M. E. Importância da adubação nitrogenada na qualidade fisiológica de sementes. In: SÁ, M. E.; BUZZETTI, S. **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Icone, p. 65-98, 1994.
- SOUZA, D. N.; SILVA, S. R.; DE LUCENA MARINHO, J.; BAZZO, J. H. B.; DE BATISTA FONSECA, I. C.; ZUCARELI, C. Rendimento de trigo e qualidade fisiológica de sementes influenciados pelo vigor de sementes, adubação nitrogenada e condições edafoclimáticas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. (6SUPL2), p. 3581-3602, 2021.
- SUBEDI, M.; KARIMI, R.; WANG, Z.; GRAF, R. J.; MOHR, R. M.; O'DONOVAN, J. T.; BERES, B. L. Winter cereal responses to dose and application timing of trinexapac-ethyl. **Crop Science**, v. 61, n. 4, p. 2722-2732, 2021.

TEIXEIRA, C. C. M.; RODRIGUES, O. **Efeito da adubação nitrogenada, arranjo de plantas e redutor de crescimento no acamamento e em características de cevada.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 16p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 20).

TIDEMANN, B. D.; O'DONOVAN, J. T.; IZYDORCZYK, M.; TURKINGTON, T. K.; OATWAY, L.; BERES, B.; DE GOOIJER, H. Effects of plant growth regulator applications on malting barley in western Canada. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 100, n. 6, p. 653-665, 2020.

ZUCARELI, C.; PANOFF, B.; PORTUGAL, G.; FONSECA, I. C. B. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na qualidade fisiológica de sementes de milho doce. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 3, p. 480-487, 2012.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

A aplicação de nitrogênio em doses controladas é essencial para otimizar a produtividade da cevada. Doses entre 25 e 75 kg ha<sup>-1</sup> resultaram em um aumento significativo na produção de grãos. No entanto, esse aumento depende das características do ambiente de cultivo, com incremento de produtividade observado apenas em Londrina. É importante ressaltar que doses elevadas de nitrogênio podem aumentar o risco de acamamento das plantas, o que impacta negativamente na qualidade da cultura. A combinação de nitrogênio com reguladores de crescimento, como o trinexapaque-etílico, demonstrou eficácia em reduzir esse risco, promovendo plantas mais robustas e com menor tendência ao acamamento.

O trinexapaque-etílico se revelou um recurso valioso para controlar a altura das plantas, especialmente quando associado às maiores doses de nitrogênio, proporcionando aumento de produtividade sem comprometer a estrutura das plantas. Além disso, a aplicação do regulador de crescimento foi eficaz em melhorar a resistência ao acamamento, o que resultou em maior rendimento de grãos. Contudo, foi observado que, apesar dos benefícios na produtividade, o uso do trinexapaque-etílico pode reduzir o peso hectolitro, um fator importante para a comercialização dos grãos.

A aplicação de nitrogênio teve impacto positivo na produtividade de sementes, mas, assim como na produtividade de grãos, esse aumento foi observado apenas em Londrina. Por outro lado, o aumento das doses de nitrogênio causou efeitos negativos na qualidade fisiológica das sementes, como redução no vigor e na germinação, o que compromete a qualidade final das sementes, evidenciado pela diminuição da massa de mil sementes e aceleração do envelhecimento das sementes.

A interação entre as doses de nitrogênio e a aplicação do trinexapaque-etílico destaca a importância de um manejo agrônomo ajustado e estratégico. Embora essa combinação possa resultar em aumento de produtividade, é fundamental controlar as doses de

nitrogênio e a aplicação do regulador de crescimento de maneira cuidadosa para otimizar tanto o rendimento quanto a qualidade fisiológica das sementes. Esse equilíbrio é crucial para garantir uma produção agrícola de alta qualidade e sustentável a longo prazo.