

RELAÇÕES ENTRE DOSES NA ADUBAÇÃO DE COBERTURA E PRODUTOS COMERCIAIS SOBRE O ACAMAMENTO NA CULTURA DO TRIGO

RELATIONSHIP BETWEEN TOPDRESSING FERTILIZATION RATES AND COMMERCIAL PRODUCTS ON LODGING IN WHEAT CULTIVATION

Pedro Augusto Batista Schepak¹; Renan Eduardo Mendes²; Luis Miguel Schiebelbein³

Resumo: O presente trabalho avaliou os efeitos de diferentes doses de trinexapac-ethyl (Moddus) e de nitrogênio em cobertura sobre o acamamento e componentes de rendimento do trigo, em experimento realizado em Ponta Grossa-PR, em 2023. Foram testadas cinco doses do regulador (0; 50; 100; 150; 200 g i.a. ha⁻¹) aplicadas entre o 1º e 2º nó perceptível, combinadas com cinco doses de nitrogênio (0; 26,5; 53; 79,5; 106 kg ha⁻¹) via ureia, com delineamento em blocos casualizados e quatro repetições. Avaliaram-se variáveis como número de espigas, espiguetas e plantas por metro, altura, comprimento da folha bandeira, grãos por espiga, produtividade, massa de mil grãos e acamamento. O número de plantas por metro foi influenciado pelo nitrogênio na ausência do regulador e quando este foi aplicado em dose dobrada. Espigas por metro e espiguetas por espiga apresentaram respostas positivas às combinações entre nitrogênio e regulador. O comprimento da folha bandeira mostrou-se relacionado às doses de nitrogênio, impactando na estruturação dos componentes. A produtividade foi significativamente influenciada por 0,5; 1,5 e 2 vezes a dose de nitrogênio. A massa de mil grãos não apresentou diferença significativa, exceto na interação entre regulador e 50% da dose recomendada de N. Conclui-se que o ajuste adequado entre regulador e adubação nitrogenada é fundamental para otimizar a produtividade e reduzir o acamamento.

Palavras-chave: Nitrogênio. Perfilhamento. Trinexapac-ethyl.

Abstract: The present study evaluated the effects of different doses of trinexapac-ethyl (Moddus) and nitrogen topdressing on lodging and yield components in wheat, conducted in Ponta Grossa-PR, Brazil, in 2023. Five doses of the growth regulator (0; 50; 100; 150; 200 g a.i. ha⁻¹) were applied between the 1st and 2nd detectable node, combined with five nitrogen doses (0; 26.5; 53; 79.5; 106 kg ha⁻¹) applied as urea, using a randomized block design with four replications. Variables evaluated included number of spikes, spikelets, and plants per meter, plant height, flag leaf length, grains per spike, grain yield, thousand grain weight, and lodging incidence and percentage. The number of plants per meter was influenced by nitrogen in the absence of the regulator and when the regulator was applied at double the standard dose. The number of spikes and spikelets per meter showed positive responses to the interaction between nitrogen and regulator doses. Flag leaf length was related to nitrogen levels, influencing the formation of yield components. Grain yield was significantly affected by 0.5x, 1.5x, and 2x the recommended nitrogen dose. Thousand grain weight showed no significant differences except for the interaction between the regulator and 50% of the recommended nitrogen dose. It is concluded that proper adjustment between growth regulator and nitrogen fertilization is essential to optimize yield and reduce lodging in wheat crops.

Keywords: Nitrogen. Tillering. Trinexapac-ethyl.

¹Aluno estudante do curso de Agronomia, CESCAGE, Ponta Grossa, renan.mendes2913@aluno.cescage.edu.br

²Aluno estudante do curso de Agronomia, CESCAGE, Ponta Grossa, pedroschepak7919@aluno.cescage.edu.br

³Professor Doutor do curso de Agronomia, CESCAGE, Ponta Grossa, luis.miguel@cescage.edu.br

INTRODUÇÃO

O trigo é uma cultura essencial para a alimentação humana e animal, com o Brasil ocupando posição de destaque entre os produtores mundiais. No entanto, fatores como o acamamento (tombamento das plantas) podem comprometer significativamente a produtividade e a qualidade dos grãos. Um dos principais responsáveis por isso é o uso inadequado da adubação nitrogenada, já que o trigo possui alta demanda por nitrogênio (cerca de 30 kg de N por tonelada produzida). Embora essencial, o excesso de nitrogênio pode enfraquecer os colmos e favorecer o acamamento.

Para mitigar esse problema, são recomendadas práticas como o parcelamento da adubação, uso de cultivares resistentes e reguladores de crescimento como o *trinexapac-ethyl*, que inibe a produção de giberelinas e fortalece os colmos. A matéria orgânica do solo também contribui para a resistência ao acamamento, melhorando a estrutura e estabilidade do solo.

Na região dos Campos Gerais do Paraná (MRT 1), onde o clima é frio e úmido e os solos apresentam baixa fertilidade natural, recomenda-se aplicar 1/3 do nitrogênio na semeadura e os 2/3 restantes em cobertura, normalmente no afilhamento. Essa abordagem reduz perdas por volatilização e melhora a eficiência do uso do nutriente.

A resposta do trigo ao nitrogênio pode variar de 12 a 21 kg de grãos por kg de N aplicado, mas doses excessivas não garantem maior produtividade e podem trazer efeitos negativos, como maior estatura e suscetibilidade a doenças. A ureia, embora comum, apresenta perdas por volatilização, especialmente em plantio direto, sendo indicado o uso de inibidores de urease ou a incorporação ao solo.

O *trinexapac-ethyl* atua reduzindo o alongamento dos entrenós e, quando aplicado no momento adequado (entre o primeiro e o segundo nó visível), contribui para a prevenção do acamamento sem prejudicar o rendimento.

Dessa forma, o manejo integrado do nitrogênio, aliado ao uso de tecnologias como redutores de crescimento, é essencial para otimizar a produtividade do trigo, especialmente em regiões suscetíveis ao acamamento, como os Campos Gerais. O equilíbrio entre adubação, escolha de cultivares e uso de reguladores é chave para alcançar alta eficiência produtiva e econômica.

Nesse contexto, este trabalho busca avaliar os efeitos de diferentes doses de nitrogênio e do regulador de crescimento *trinexapac-ethyl* sobre os componentes de rendimento, o acamamento e a eficiência econômica da cultura do trigo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na cidade de Ponta Grossa, PR, no ano de 2023. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, de textura franco-argilo-arenosa. Utilizou-se sementes de trigo certificadas da cultivar TBIO Ponteiro, considerada de ciclo médio-tardio sendo medianamente suscetível ao acamamento e resistente ao crestamento oriundo do alumínio tóxico do solo, previamente tratadas via tratamento de sementes industrial da sementeira. Realizada a análise do solo no laboratório Interpartner, demonstrada na Tabela 1.

A semeadura da cultura ocorreu no dia 24 de junho de 2023, em área de sistema plantio direto pós soja, e a colheita dia 21 de outubro de 2023. A adubação de base consistiu na aplicação de 300 kg ha⁻¹ do adubo fosfato monoamônico (MAP), e a adubação de cobertura foi realizada aos 35 dias após semeadura (29 de julho), no início do perfilhamento, na forma de ureia com 44% de nitrogênio, nas doses de: 0; 26,5; 53; 79,5; 106 kg ha⁻¹ conforme escalonamento da recomendação baseada na análise de solo.

Tabela 1 – Resultado da análise de solo referente ao talhão utilizado para desenvolvimento do trabalho.

Talhão	Profundidade de coleta	pH	H ⁺ Al	Al	Ca	K	SB	CTC	P Mehlich	C	MO	V	m Al
	cm			mmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³	g dm ⁻³		%	
1	0-20	4,55	103,2 7	5,06	12,3	5,85	48,3 5	151,6 2	12,2	21,3 1	36,7 4	31,8 9	9,47

Fonte: Laboratório Interpartner.

Para os tratamentos de regulador de crescimento realizados a campo, conforme demonstrados na Tabela 2, foi utilizado o produto comercial Moddus (Trinexapac-ethyl) alocado em escalonamento de doses com base na recomendação de bula, sendo assim, foram utilizados: 0; 50; 100; 150; 200 g I.A ha⁻¹, aplicados entre o 1º e o 2º nó perceptível, os quais representam os estádios 31 e 32 da escala de Zadoks *et al.* (1974).

Tabela 2 – Descrição dos tratamentos de regulador de crescimento, respectivamente ordenados em 0; 0,5; 1; 1,5 e 2 vezes a dose recomendada.

Ordem	Regulador de crescimento	Produto comercial	Dose (Litros/hectare)	Distribuição
1	-	-	zero	-
2	trinexapac-ethyl	Moddus	0,2	via foliar
3	trinexapac-ethyl	Moddus	0,4	via foliar
4	trinexapac-ethyl	Moddus	0,6	via foliar
5	trinexapac-ethyl	Moddus	0,8	via foliar

A aplicação de nitrogênio em cobertura foi realizada de forma manual e distribuída conforme demonstrado na Tabela 3, enquanto a de regulador de crescimento se deu pela utilização de pulverizador costal de pressão constante de 2000 kPa, pelo CO₂ comprimido e pontas de jato leque, velocidade de aplicação de 1 metro por segundo que resultou em um volume de calda de 130 L ha⁻¹.

Tabela 3 - Descrição dos tratamentos de adubação de cobertura, respectivamente ordenados em 0; 0,5; 1; 1,5 e 2 vezes a dose recomendada.

Ordem	Fonte nitrogenada	Dose (Kg/hectare)	Distribuição
1	-	zero	-
2	Ureia granular	26,5	A lança
3	Ureia granular	53	A lança
4	Ureia granular	79,5	A lança
5	Ureia granular	106	A lança

O delineamento experimental definido para o trabalho foi o de blocos casualizados com quatro repetições, sendo disponibilizado em 5 doses de nitrogênio interpoladas com 5 doses de regulador de crescimento, conforme ilustrado na Figura 1. As parcelas eram compostas de 3 metros de largura por 5 metros de comprimento, espaçamento entre linhas de 0,17m, entretanto cada parcela possuía 17 linhas de plantio.

A ocorrência de um clima ameno de umidade controlada, sem fortes chuvas, ou ventos associados a temperaturas amenas durante a instalação do experimento não ocasionou interferência direta no acamamento. Pragas e doenças devidamente controladas seguindo o

manejo recomendado pela consultoria da fazenda, onde foram utilizados alguns triazóis e estrobirulinas para controle de doenças de forma preventiva, e no quesito de pragas, realizado o monitoramento periódico, ocorrendo então a aplicação de inseticidas apenas quando necessário.

Para avaliação de incidência e porcentagem de acamamento foi delimitado a época de antese e pré colheita da cultura, onde foram atribuídas notas de 0 a 100% para cada tratamento por meio de teste visual de comparação em relação a testemunha. A produtividade dos tratamentos foi avaliada perante a colheita de 6 linhas centrais de ponta a ponta de cada tratamento e extrapolando para produtividade em 1 hectare levando em consideração a correção para 13% de umidade. Os parâmetros plantas por metro, número de perfilhos, espigas por metro e espiguetas por metro foram avaliados perante a contagem por metro de linha de forma aleatória dentro de cada parcela experimental. Já os componentes altura (medida em centímetros da base da planta até a base da espiga), comprimento de folha bandeira (cm), número de grãos por espiga e massa de mil grãos foram avaliados decorrente da coleta de 10 plantas aleatória dentro da parcela e quantificados.

Os componentes de rendimento avaliados foram submetidos a análises estatísticas utilizando a análise por regressão polinomial, pois era esperado uma variação que não fosse linear com base nas variáveis dependentes em resposta as mudanças nas variáveis independentes, tendo como princípio de escolha o fato desse modelo ser útil para poder modelar as situações em que essa relação entre as variáveis pudesse ter curvas ou reviravoltas. Já as diferenças entre as médias coletadas de diferentes doses da aplicação do trinexapac-ethyl foram comparadas estatisticamente pelo teste de F com significância a 5% sendo que desejamos avaliar se a variância entre duas ou mais amostras seriam significativas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo mostraram que os componentes de rendimento altura de plantas e grãos por espiga não apresentaram significância estatística nas análises realizadas. No caso da altura de plantas, não foram observadas diferenças visuais expressivas entre os tratamentos, indicando que as doses de adubação de cobertura e o produto comercial testado não influenciaram de forma marcante essa variável. Para os grãos por espiga, a ausência de significância pode estar associada à alta variabilidade natural dessa característica, que é influenciada por múltiplos fatores ambientais e genéticos. Além disso, a análise de normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk revelou que ambas as variáveis apresentaram resíduos que não seguiram uma distribuição normal, o que comprometeu a validade dos testes de significância aplicados. Esses resultados sugerem a necessidade de investigações adicionais, considerando outros fatores que possam impactar essas variáveis, além da aplicação de abordagens estatísticas alternativas para lidar com possíveis violações dos pressupostos dos modelos utilizados.

Os resultados obtidos no presente estudo indicam que a interação entre os níveis de nitrogênio e o uso de reguladores de crescimento exerce um papel fundamental na densidade de plantas por metro, evidenciado principalmente nas doses extremas de nitrogênio (0 e 2). O presente resultado está em linha com recentes estudos, que apontam que a adubação nitrogenada, combinada com reguladores de crescimento, pode influenciar positivamente a arquitetura das plantas, aumentando a densidade e o desempenho das culturas.

Para Martins *et al.* (2017), a aplicação de reguladores de crescimento em doses elevadas de nitrogênio tem mostrado potencial para controlar o alongamento das plantas e otimizar a distribuição de recursos, especialmente em condições de excesso de nitrogênio, que de outra forma levariam a um crescimento excessivo, seguido pelo acamamento. Os resultados encontrados por Zhang *et al.* (2021) também corroboram essa observação, destacando que a

combinação entre nitrogênio e reguladores de crescimento pode ser particularmente benéfica para o trigo, ao melhorar a resistência das plantas ao acamamento e, ao mesmo tempo, potencializar o efeito da adubação na produtividade.

Além disso, os resultados da interação entre as doses intermediárias de nitrogênio (0,5; 1; e 1,5) e reguladores de crescimento, mostraram que o efeito não foi tão pronunciado em termos de densidade de plantas por metro, corroborando os achados de Silva *et al.* (2019), que observaram uma menor resposta do trigo à aplicação de reguladores quando o nitrogênio foi mantido em níveis moderados. Esses resultados, demonstrados, sugerem que, em doses intermediárias de nitrogênio, o efeito do regulador sobre o controle do crescimento da planta pode ser menos crítico, já que o fornecimento do nutriente já atende parcialmente às necessidades de desenvolvimento da cultura.

A falta de efeito significativo do nitrogênio isolado, por outro lado, pode ser explicada pela redundância do nutriente em níveis moderados e elevados, conforme reportado por Lima *et al.* (2020), que observaram que, quando o nitrogênio está em níveis adequados, a densidade de plantas por metro não sofre grandes variações, a menos que intervenções externas, como o uso de reguladores de crescimento, sejam aplicadas. Portanto, considerar as interações entre o nitrogênio e os reguladores de crescimento de forma integrada, já que o efeito combinado desses fatores pode resultar em respostas mais expressivas do que a análise isolada de cada variável. Segundo Rojas *et al.* (2018), a interação entre esses dois fatores pode ser um caminho promissor para a otimização da densidade de plantas em cultivos de trigo, especialmente quando se busca mitigar o acamamento e melhorar o rendimento das culturas.

Os resultados obtidos na variável espigas por metro, evidenciam a importância das doses de nitrogênio e da interação com o regulador de crescimento, que foi significativamente influenciada por essas variáveis. Esse comportamento reflete a relevância do nitrogênio no desenvolvimento reprodutivo das plantas de trigo, um resultado que já foi comprovado por diversos estudos recentes. Segundo Silva *et al.* (2020), o nitrogênio é essencial para a formação de espigas e espiguetas, e seu efeito direto sobre a produtividade do trigo é amplamente reconhecido, com doses elevadas de nitrogênio geralmente resultando em maior número de espigas por metro. Este efeito foi também observado por Zhang *et al.* (2018), que encontraram um aumento na formação de espigas quando o trigo foi submetido a altas doses de nitrogênio, especialmente em condições de irrigação controlada.

A interação significativa entre o nitrogênio e o regulador de crescimento também merece destaque. Os reguladores de crescimento, como o trinexapac-ethyl, são conhecidos por promoverem o controle do crescimento excessivo e a redução do acamamento, o que pode favorecer a maior distribuição de recursos para a formação de espigas (Cui *et al.*, 2016). No presente estudo, o uso combinado de nitrogênio e regulador potencializou o número de espigas por metro, o que pode ser explicado pela modulação dos processos fisiológicos das plantas, como a alocação de nutrientes e a redução do estresse induzido pelo excesso de nitrogênio que foi comprovado e demonstrado.

De acordo com estudos recentes, como o de Li *et al.* (2019), a combinação entre doses adequadas de nitrogênio e reguladores de crescimento pode ser uma estratégia eficaz para melhorar a produtividade das culturas de trigo, já que o regulador atua não apenas no controle do crescimento vegetativo, mas também no aumento da eficiência do uso do nitrogênio. Além disso, o uso de reguladores tem mostrado potencial para otimizar a resposta das plantas ao nitrogênio, reduzindo a tendência ao acamamento e melhorando a formação de espigas, especialmente em cultivos intensivos (Jiang *et al.*, 2021).

Por outro lado, o impacto do nitrogênio nas espiguetas por espiga também foi altamente influenciado pela interação com o regulador de crescimento. Esses resultados, indicam que a adubação nitrogenada tem um efeito substancial na produtividade de espiguetas, com doses de nitrogênio mais altas, combinadas com o regulador de crescimento, sendo mais eficazes. Estudo

de Zhang *et al.* (2017) sugere que o trinexapac-ethyl pode otimizar a produção de espiguetas, especialmente quando utilizado em combinação com doses moderadas a altas de nitrogênio, uma abordagem também recomendada pelos achados deste trabalho. A importância dessa interação é destacada por Martins *et al.* (2018), que observaram que a combinação de nitrogênio e regulador de crescimento pode aumentar a eficiência da cultura de trigo, maximizando a produção de espiguetas por espiga.

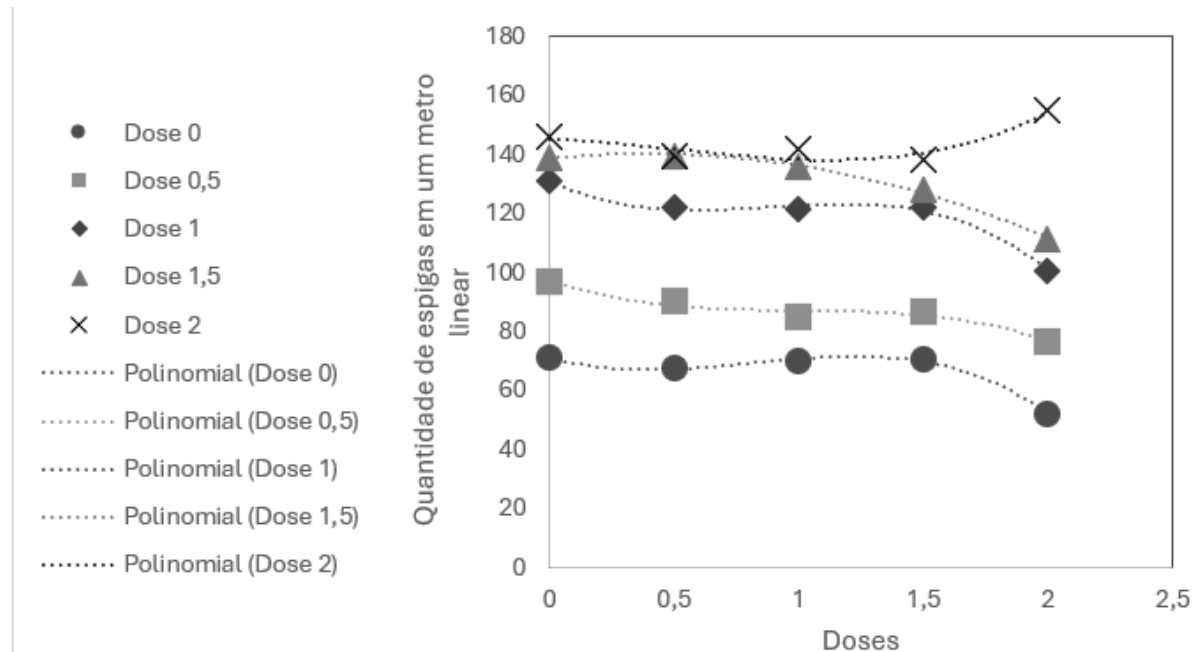


Figura 1 - Representação gráfica da regressão polinomial para análise das médias para o fator espigas em metro por linha os tratamentos da interação de regulador com nitrogênio, sendo avaliado uma linha de 1 metro por parcela experimental. Ponta Grossa, 2023.

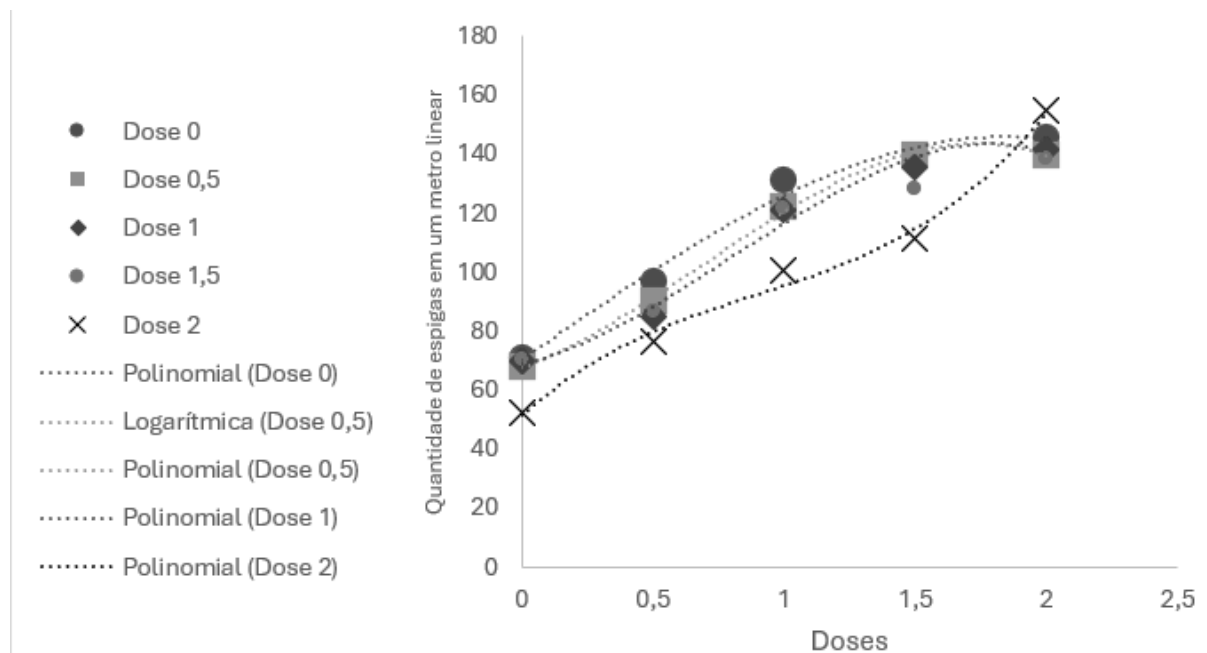


Figura 2 - Representação gráfica da regressão polinomial para análise das médias para o fator

espigas em metro por linha os tratamentos da interação de nitrogênio com regulador, sendo avaliado uma linha de 1 metro por parcela experimental. Ponta Grossa, 2023.

Para a variável folha bandeira foi observado a forte influência pelas doses de nitrogênio, que foi comprovado e demonstrado, assim como pela interação entre o nitrogênio e o regulador de crescimento. A folha bandeira, sendo a última folha a se desenvolver na planta, tem um papel crucial na fotossíntese, que é diretamente associada à produção e produtividade da cultura do trigo. Resultados semelhantes foram observados por Silva *et al.* (2021), que destacam que o aumento das doses de nitrogênio leva ao aumento no tamanho e desenvolvimento da folha bandeira, o que favorece a capacidade fotossintética da planta. O aumento da área foliar, especialmente da folha bandeira, resulta em maior captura de luz e, conseqüentemente, em maiores taxas de fotossíntese e produtividade.

Além disso, a interação significativa entre o nitrogênio e o regulador de crescimento corroborou os achados de Zhang *et al.* (2018), que afirmam que o uso de reguladores de crescimento pode potencializar os efeitos do nitrogênio sobre o desenvolvimento foliar. Esses reguladores, como o trinexapac-ethyl, são conhecidos por promoverem o controle do crescimento excessivo e a redução do acamamento, enquanto permitem que a planta mantenha uma maior área foliar funcional (Cui *et al.*, 2016). Este efeito é particularmente importante, pois o regulador pode ajudar a melhorar a distribuição de nutrientes e a utilização eficiente do nitrogênio, maximizando a formação e o desenvolvimento da folha bandeira (Zhang *et al.*, 2021).

Outros estudos também ressaltam que a utilização equilibrada de nitrogênio e reguladores de crescimento pode ser uma estratégia eficiente para otimizar o desenvolvimento foliar. De acordo com Jiang *et al.* (2020), a combinação de nitrogênio com reguladores de crescimento pode promover uma melhor alocação de recursos nas plantas, resultando em um maior desenvolvimento da folha bandeira e, conseqüentemente, maior produtividade. Isso se deve à capacidade dos reguladores de manter o crescimento vegetativo adequado, sem comprometer a formação de folhas funcionais, especialmente em condições de cultivo intensivo.

Em termos de manejo agrícola, os resultados sugerem que a combinação eficaz entre doses de nitrogênio e o uso de reguladores pode ser fundamental para melhorar o desempenho da cultura de trigo. A estratégia de otimizar essas variáveis deve considerar a dose ideal de nitrogênio, que em combinação com o regulador de crescimento, pode maximizar o desenvolvimento da folha bandeira e melhorar a produtividade da lavoura (Cui *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2019). A utilização desses dois fatores de forma equilibrada pode, portanto, proporcionar melhores resultados agrônômicos e contribuir para o aumento da eficiência do manejo nutricional nas lavouras de trigo.

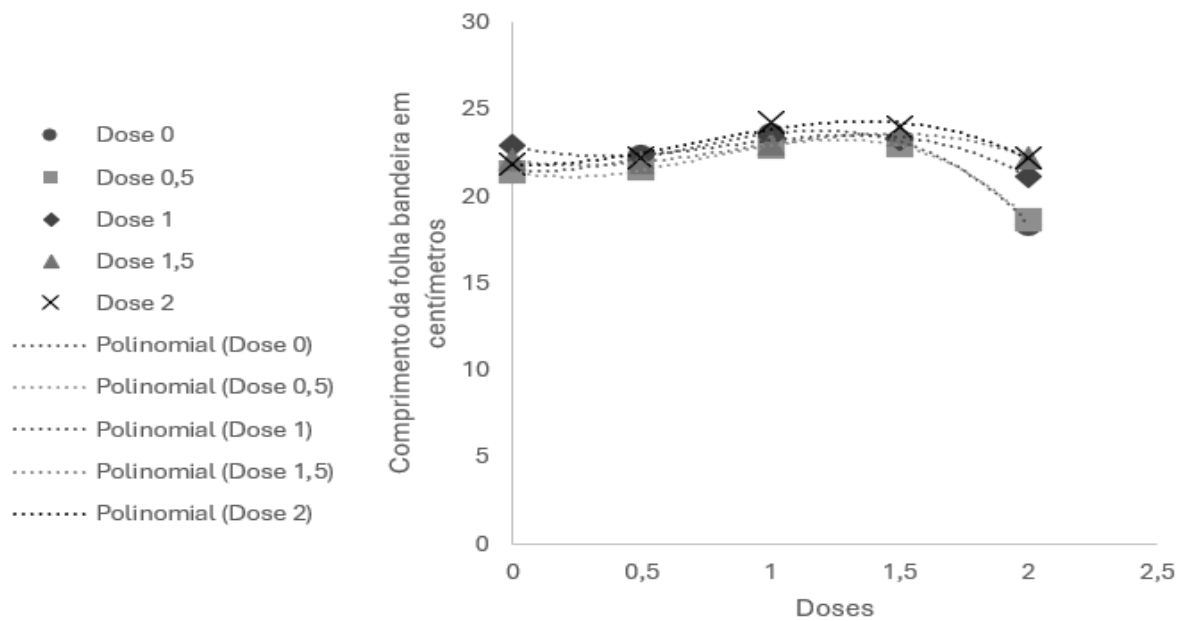


Figura 3 - Representação gráfica da regressão polinomial para análise das médias para o fator comprimento de folha bandeira (cm) avaliado da base da planta até a base da espiga para os tratamentos da interação de regulador com nitrogênio. Ponta Grossa, 2023.

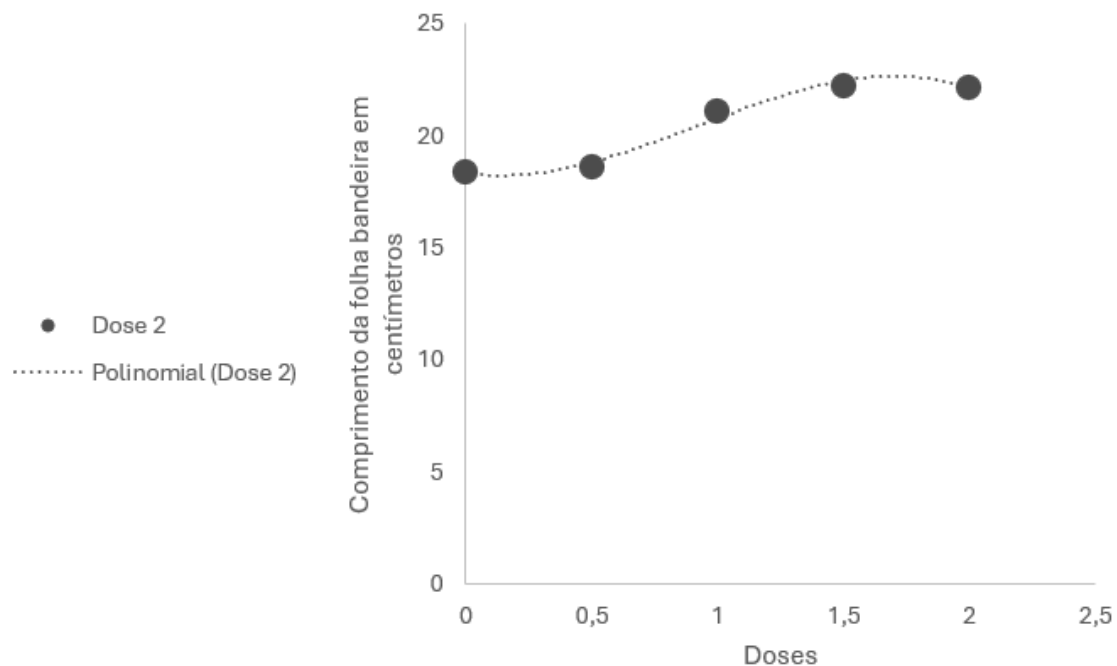


Figura 4 - Representação gráfica da regressão polinomial para análise das médias para o fator comprimento de folha bandeira (cm) avaliado da base da planta até a base da espiga para os tratamentos da interação de nitrogênio com regulador. Ponta Grossa, 2023.

De acordo com Zhang *et al.* (2017), a aplicação de doses elevadas de nitrogênio pode intensificar o crescimento das plantas de trigo, promovendo uma maior biomassa e produtividade. No entanto, a combinação de doses de nitrogênio com reguladores de crescimento tem sido apontada como um fator crucial para otimizar a resposta da planta. Trabalhos como o de Liu *et al.* (2020), foram corroborados pelos resultados demonstrados, onde

sugerem que o uso de reguladores em doses mais altas de nitrogênio potencializa os efeitos desse nutriente, resultando em uma produtividade superior devido ao melhor aproveitamento da fotossíntese e à redução do estresse ambiental nas plantas.

Adicionalmente, a pesquisa de Costa *et al.* (2018) indica que, em doses intermediárias de nitrogênio, o regulador de crescimento ajuda a controlar o vigor excessivo da planta, favorecendo o direcionamento de recursos para a produção de grãos, o que pode melhorar a produtividade de forma mais equilibrada. A combinação eficaz de doses de nitrogênio com reguladores de crescimento foi demonstrada e comprovada, onde confirma-se que tal interação não apenas otimiza a utilização dos recursos, mas também pode reduzir o risco de acamamento, um fator limitante para a produtividade em ambientes com alta carga nutricional (Barros *et al.*, 2019).

Estudos adicionais, como o de Silva *et al.* (2021), reforçam a importância de ajustar essas doses de maneira precisa, uma vez que a combinação inadequada pode levar a efeitos negativos, como o excesso de nitrogênio, que pode causar desequilíbrios no desenvolvimento das plantas. Por outro lado, a combinação estratégica com reguladores, especialmente em doses elevadas de nitrogênio, pode resultar em uma produtividade de grãos superior.

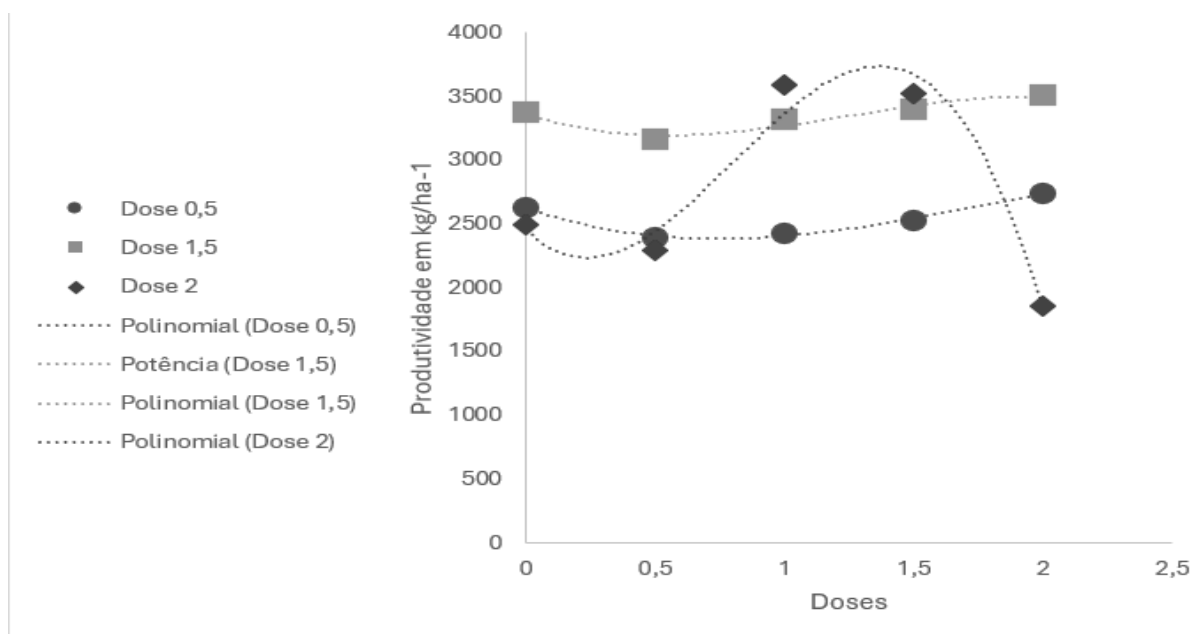


Figura 5 - Representação gráfica da regressão polinomial para análise das médias para o fator comprimento de produtividade para os tratamentos da interação de regulador com nitrogênio. Ponta Grossa, 2023.

Tabela 4 - Modelos de equações referentes ao gráfico acima para análise das médias para o fator produtividade para os tratamentos da interação de regulador com nitrogênio. Ponta Grossa, 2023.

Dose	Modelo	R ²
0	<i>Não significativo</i>	--
0,5	$y = -110,67x^3 + 609,36x^2 - 721,8x + 2627,8$	0,9913
1	<i>Não significativo</i>	--
1,5	$y = -217,17x^3 + 812,43x^2 - 689,32x + 3363,3$	0,933
2	$y = -2062,5x^3 + 4957,8x^2 - 1983,4x + 2451,2$	0,9586

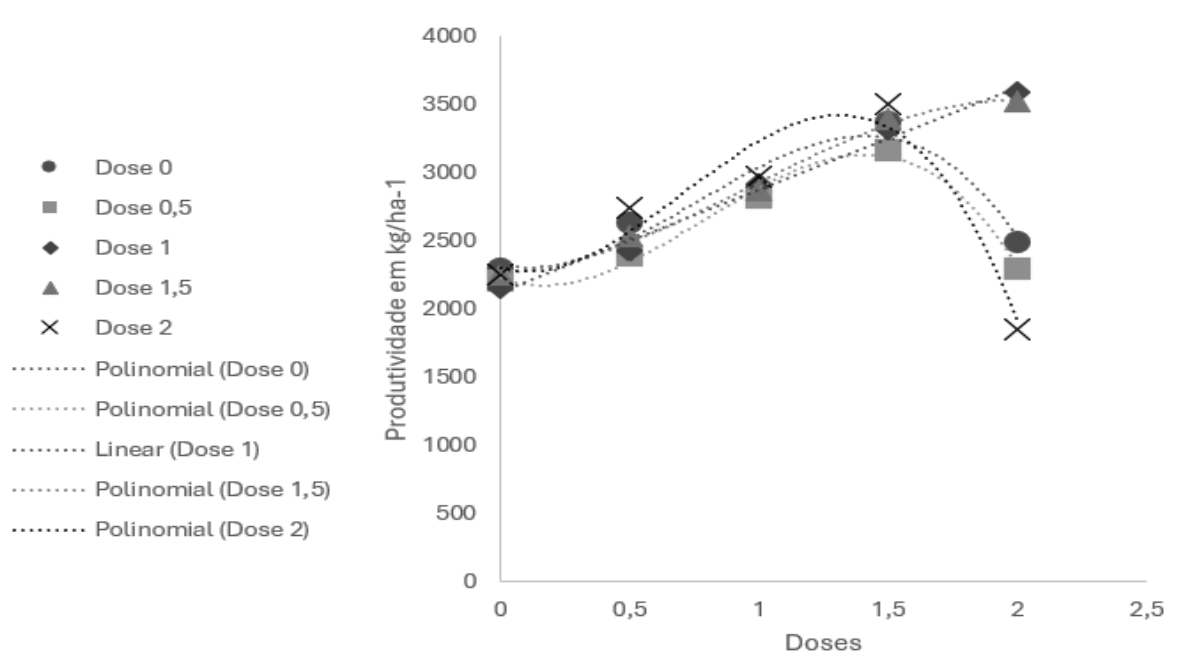


Figura 6 - Representação gráfica da regressão polinomial para análise das médias para o fator comprimento de produtividade para os tratamentos da interação de nitrogênio com regulador. Ponta Grossa, 2023.

Tabela 5 - Modelos de equações referentes ao gráfico acima para análise das médias para o fator produtividade para os tratamentos da interação de nitrogênio com regulador. Ponta Grossa, 2023.

Dose	Modelo	R ²
0	$y = -857,83x^3 + 1956,2x^2 - 384,47x + 2324,7$	0,913
0,5	$y = -976,5x^3 + 2306,6x^2 - 668,27x + 2225$	0,9851
1	$y = 750,1x + 2130,1$	0,9902
1,5	$y = -307,83x^3 + 891x^2 + 82,208x + 2264,3$	0,99
2	$y = -1289,5x^3 + 2734x^2 - 511,88x + 2300$	0,9197

Para a variável massa de mil grãos, a interação entre o nitrogênio e o regulador de crescimento não apresentou um efeito expressivo, exceto na meia dose de nitrogênio. Nesse nível de adubação, a combinação com o regulador teve uma influência significativa, demonstradas, onde indicaram que, em doses mais baixas de nitrogênio, o regulador pode ter um papel mais destacado no desenvolvimento dos grãos, possivelmente otimizando a formação da massa. Em outras doses de nitrogênio, a interação entre o regulador e o nutriente não demonstrou resultados significativos, sugerindo que o efeito do regulador é mais relevante em doses menores de nitrogênio.

Estudos recentes corroboram esses achados, mostrando que a interação entre o nitrogênio e o regulador de crescimento pode ser mais eficaz em doses baixas de nitrogênio. Furtado *et al.* (2017) indica que a combinação de reguladores e doses reduzidas de nitrogênio pode ajudar a direcionar os recursos das plantas para a formação de grãos, otimizando a massa de mil grãos, especialmente em situações em que o excesso de nitrogênio pode resultar em crescimento excessivo das folhas e caules, prejudicando o desenvolvimento reprodutivo. Nesse contexto, o uso de reguladores de crescimento pode equilibrar essa dinâmica e promover uma melhor distribuição de recursos, resultando em uma maior produtividade de grãos.

Costa *et al.* (2019) também destacam que, para algumas culturas de trigo, o uso de

reguladores de crescimento em doses menores de nitrogênio pode ser mais eficaz do que o uso de nitrogênio em doses elevadas, quando a planta não está excessivamente vigorosa. Essas observações sugerem que a eficiência do regulador em doses menores de nitrogênio é uma estratégia valiosa para otimizar a formação da massa de grãos, ao passo que em doses mais altas de nitrogênio a interação com o regulador tende a não ter efeitos significativos.

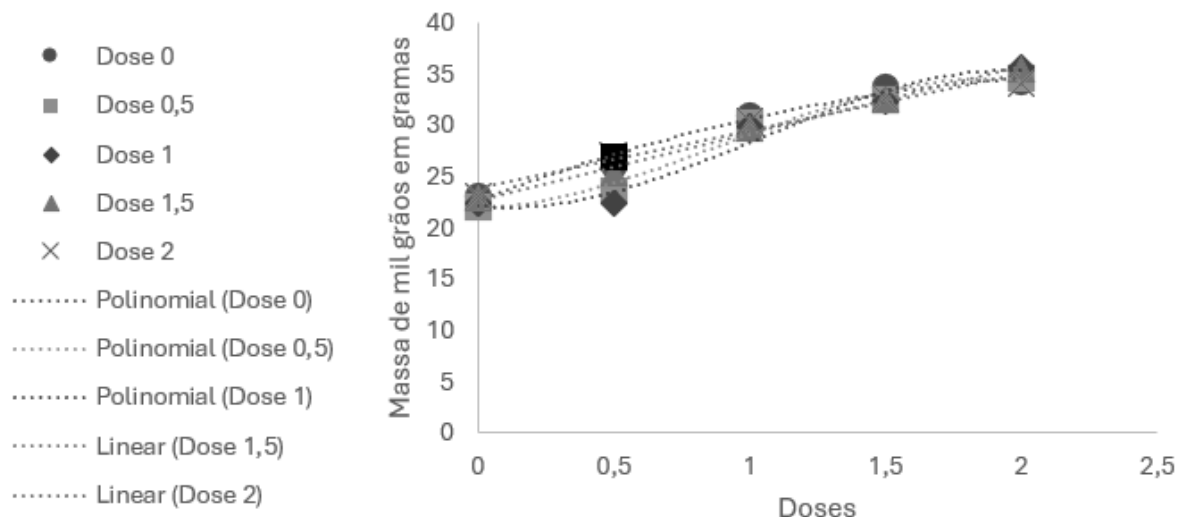


Figura 7 - Representação gráfica da regressão polinomial para análise das médias para o fator massa de mil grãos (g) para os tratamentos da interação de nitrogênio com regulador. Ponta Grossa, 2023.

Tabela 6- Modelos de equações referentes ao gráfico acima para análise das médias para o fator massa de mil grãos (g) para os tratamentos da interação de nitrogênio com regulador. Ponta Grossa, 2023.

Dose	Modelo	R ²
0	$y = -2,0071x^2 + 9,9993x + 22,666$	0,9784
0,5	$y = -3,55x^3 + 9,6643x^2 + 1,1089x + 21,895$	0,9756
1	$y = -4,3167x^3 + 13,4x^2 - 2,9458x + 22,193$	0,9668
1,5	$y = 6,52x + 22,705$	0,9921
2	$y = 5,555x + 23,895$	0,9677

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo indicaram que, embora algumas variáveis como altura de plantas e grãos por espiga não tenham mostrado significância estatística, outras, como plantas por metro, espigas por metro e produtividade, foram fortemente influenciadas pela interação entre as doses de nitrogênio e o regulador de crescimento.

A interação mais significativa foi observada em doses extremas de nitrogênio, especialmente para plantas por metro, espigas por metro e produtividade. A variável folha bandeira também foi impactada, destacando a importância do ajuste das doses de nitrogênio combinadas com o regulador. Por outro lado, a massa de mil grãos teve pouca influência, exceto na meia dose de nitrogênio, onde o regulador teve um efeito positivo.

Esses achados sugerem que a combinação adequada de nitrogênio e regulador de crescimento pode otimizar o desempenho do trigo, principalmente em doses mais altas de nitrogênio, sendo necessário ajustar esses fatores para maximizar a produtividade.

Portanto, os resultados podem auxiliar em um manejo mais assertivo do trigo ao evitar variações desnecessárias nas dosagens do nitrogênio e do regulador de crescimento. Com base nas análises estatísticas, e o cenário presente no experimento, o uso da dose recomendada por

bula do Moddus e a dose de 100% de nitrogênio obtiveram um melhor resultado no desenvolvimento do trigo.

REFERÊNCIAS

BARROS, F. M. Nitrogen fertilization and plant growth regulators for improving wheat productivity. **Field Crops Research**, v. 232, p. 38-47, 2019.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Fontes e doses de nitrogênio na adubação de semeadura do trigo no Paraná. **Embrapa**, 2010.

CHEN, Y. Nitrogen management effects on wheat yield and grain protein concentration. **Field Crops Research**, v. 210, p. 145-152, 2017.

COSTA, A. L. Interaction between nitrogen fertilization and growth regulators in wheat production. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 5, p. 1279-1287, 2018.

COSTA, A. L. Nitrogen and growth regulators in wheat grain filling. **Field Crops Research**, v. 234, p. 58-67, 2019.

CREGAN, P. B.; VAN BERKUM, P. Genetics of nitrogen metabolism and physiological/biochemical selection for increased grain crop productivity. Theoretical and **Applied Genetics**, v. 67, p. 97-111, 1984.

CUI, S. Effect of plant growth regulators and nitrogen on wheat lodging resistance. **Field Crops Research**, v. 196, p. 15-21, 2016.

DING, W. Impact of nitrogen fertilization on wheat yield and lodging resistance. **Agricultural Systems**, v. 187, 2021.

DUARTE, A. P. Volatilização de amônia em sistemas de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 5, p. 541-549, 2016.

FOLONI, J. S. Indicações fitotécnicas para cultivares BRS de trigo no Paraná. **Embrapa Soja**, 2011

FARIA, L. P. de; SILVA, S. R.; LOLLATO, R. P. Nitrogen and trinexapac-ethyl effects on wheat grain yield, lodging and seed physiological quality in southern Brazil. **Experimental Agriculture**, v. 58, e21, 2022.

FERREIRA, A. Eficácia do uso de nitrogênio em condições ambientais variadas no cultivo de trigo no Brasil. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 33, n. 12, 2021.

FERREIRA, M. E. Dynamics of nitrogen uptake and allocation in wheat under tropical conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 184, p. 53-61, 2021.

FURTADO, J. M. Effects of nitrogen and growth regulators on wheat grain yield and quality. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 180, n. 5, p. 732-741, 2017.

JUNGES, A. H. Nitrogen use efficiency and grain yield in wheat: Management strategies in Southern Brazil. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 1, p. 18-27, 2021.

KHIERALLA, A. Impacts of nitrogen overapplication on lodging susceptibility in wheat crops. **Acta Agriculturae Scandinavica**, 2020.

LI, X. Effects of nitrogen application and plant growth regulators on wheat yield and grain quality. **Field Crops Research**, v. 234, p. 16-24, 2019.

LI, Z. Nitrogen dynamics in wheat: Partitioning and utilization in different growth stages. **Plant and Soil**, v. 427, p. 1-12, 2018.

LIU, H. Effects of nitrogen levels and growth regulators on wheat growth and yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 39, n. 3, p. 747-755, 2020.

MARTINS, C. A.; LIMA, D. T.; FERRARI, M. T. Efeitos de reguladores de crescimento sobre a densidade e resistência ao acamamento do trigo em diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, n. 2, p. 243-254, 2017.

Rademacher, W. Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual Plant Reviews**, v. 8, p. 141-160, 2015.

RAHMAN, M. Optimized nitrogen management practices for wheat production: A sustainable approach. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 185, 2022.

SCHEEREN, P. L. Instruções para utilização de descritores de trigo. 1984.

SILVA, D. B.; ARAÚJO, P. F.; OLIVEIRA, S. G. Nitrogen and growth regulators interactions for wheat production and lodging control. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40, n. 5, p. 79-87, 2020.

GONÇALVES, H.; EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Df: Embrapa, 2013.

VESOHOSKI, F. Componentes do rendimento de grãos em trigo e seus efeitos diretos e indiretos na produtividade. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, 2011.

WU, L. et al. Nitrogen management balancing yield and protein content in spring wheat. **Field Crops Research**, v. 241, 2019.

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

ZHANG, Y. Effects of nitrogen and growth regulator application on wheat yield and spikelet formation. **Plant Growth Regulation**, v. 83, p. 139-148, 2021.