

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TRIÂNGULO MINEIRO - *CAMPUS* UBERABA
MESTRADO PROFISSIONAL EM PRODUÇÃO VEGETAL**

GABRIELE MENDES PEREIRA

**SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA COM LEDS E DOSES DE NITROGÊNIO NA
CLOROFILA, TROCAS GASOSAS E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE GRÃOS
DO TRIGO BRS 264**

**Uberaba- MG
2025**

GABRIELE MENDES PEREIRA

**SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA COM LEDS E DOSES DE NITROGÊNIO NA
CLOROFILA, TROCAS GASOSAS E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE GRÃOS
DO TRIGO BRS 264**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - Curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – *Campus* Uberaba, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Linha de pesquisa: Sistemas produtivos no Cerrado

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Branco Paiva
Coorientador: Prof. Dr. Fausto Antônio Domingos Júnior

**Uberaba-MG
2025**

Ficha Catalográfica elaborada pelo Setor de Referência do IFTM –
Campus Uberaba

P414s Pereira, Gabriele Mendes.
 Suplementação luminosa com LEDS e doses de nitrogênio na
 clorofila, trocas gasosas e componentes de produção de grãos do trigo
 BRS 264 / Gabriele Mendes Pereira. –. 2025.
 60 f.: il.

 Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Branco Paiva
 Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Instituto Federal
 do Triângulo Mineiro – *Campus Uberaba*, 2025.

 1. LEDs vermelho e azul. 2. Fotossíntese. 3. *Triticum aestivum*, 4.
 Rhopalosiphum padi. I. Paiva, Paulo Eduardo Branco. II. Título.

CDD- 633.11

Elaborada pela Bibliotecária Rosemar Rosa – CRB6: registro 1.982



INSTITUTO
FEDERAL
Triângulo Mineiro

Documento assinado eletronicamente por MAYTÊ MARIA ABREU PIRES DE MELO SILVA, PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO, em 17/06/2025, às 22:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

VINICIUS AUGUSTO FILLA
MEMBRO EXTERNO DE BANCA DE EXAME DE QUALIFICAÇÃO E DEFESA DE MESTRADO/DOCTORADO



INSTITUTO
FEDERAL
Triângulo Mineiro

Documento assinado eletronicamente por VINICIUS AUGUSTO FILLA, MEMBRO EXTERNO DE BANCA DE EXAME DE QUALIFICAÇÃO E DEFESA DE MESTRADO/DOCTORADO, em 18/06/2025, às 08:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://iftm.edu.br/autenticacao/> informando o código verificador **14DA056** e o código CRC **42184B49**.

Referência: NUP: 23200.007733/2025-81

DOCS nº 0000729634

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, o autor da vida, o qual me permitiu chegar até aqui. Obrigada pela vida, por minha família, pelas conquistas e por todos que me apoiaram nesta caminhada.

Aos meus pais, pelo amor e apoio ao longo desta jornada. Por me ajudar e incentivar para que o meu sonho fosse concretizado.

Ao meu irmão Daniel, minha cunhada Jhene e ao meu sobrinho Victor Hugo. Agradeço por estarem sempre ao meu lado e me ajudando em todos os momentos em que precisei.

Aos meus tios pelo apoio, carinho e incentivo em todas as conquistas da minha vida.

A minha avó Maria Mendes, pelo amor, cuidado e por estar presente em todos os momentos. Ao meu avô João Mendes (*in memoriam*), por ter sido um exemplo de pessoa, pelo seu amor, carinho e por ter sido sempre tão atencioso e cuidadoso com a família; e por ter me incentivado em todos os momentos.

A minha avó Antônia Irani (*in memoriam*), pelo amor, carinho e por sempre nos ajudar em todos os momentos. Ao meu avô Jose Alves (*in memoriam*) pelo amor, carinho e incentivo na área agropecuária ao me proporcionar vivenciar alguns momentos na mesma.

Ao meu Pastor Eudeir, pelas suas orações, apoio, compreensão e por sempre me aconselhar a alcançar o melhor, conforme a palavra de Deus.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Paulo Eduardo Branco Paiva pela paciência, dedicação, apoio e incentivo. Meu muito obrigada!

Ao meu Coorientador, Prof. Dr. Fausto Antônio Domingos Júnior pela ajuda, apoio e incentivo. Meu muito obrigada!

Ao Prof. Dr. Valdeci Orioli Júnior por toda ajuda e apoio na condução do experimento!

Ao CNPQ, pela bolsa concedida de apoio financeiro, meu muito obrigada!

Ao IFTM e todos seus colaboradores, meu muito obrigada por contribuírem para minha formação e aprendizado. Agradeço a todos que, de uma forma ou de outra, colaboram por mais esta conquista. Meu muito obrigada!

“Assim, permanecem agora estes três: a fé, a esperança e o amor. O maior destes, porém, é o amor”. (1 Coríntios 13:13)

RESUMO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é responsável por cerca de 20% do consumo humano global de calorias e proteínas, sendo essencial para a segurança alimentar mundial. Por isso, é necessário saber mais sobre a ação de suplementação luminosa e adubação nitrogenada no seu ciclo de desenvolvimento. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da suplementação luminosa com LEDs e de diferentes doses de nitrogênio nas trocas gasosas, índices de clorofila, incidência de pulgões (*Rhopalosiphum padi*) e componentes de produção do trigo BRS 264, cultivado em ambiente protegido. O experimento foi conduzido em estufa agrícola no IFTM - Campus Uberaba, entre maio e setembro de 2023. Utilizaram-se vasos de 40 L contendo Latossolo Vermelho e a cultivar BRS 264. Adotou-se um delineamento em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas principais consistiram em três níveis de suplementação luminosa com LEDs vermelho e azul (PPFD de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) e um controle sem luz artificial. As sub-parcelas receberam três doses de nitrogênio (60, 120 e 180 kg ha^{-1}), fracionadas em duas aplicações. As variáveis avaliadas incluíram incidência de *R. padi*, índices de clorofila (a, b e total), altura e diâmetro de caule, trocas gasosas diurnas e noturnas (E, gs, A, Ci), e componentes de produção (número de espigas, número de grãos, relação grãos por espiga, massa de grãos, peso do hectolitro e massa de 1000 grãos). A análise estatística utilizou ANOVA e modelos lineares generalizados (MLG), com testes de Tukey ($p < 0,05$). A suplementação luminosa com PPFD de 215 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ promoveu os maiores índices de clorofila a, b e total. As variáveis morfológicas (altura e diâmetro do caule) não foram influenciadas significativamente pelos tratamentos. À noite, a fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E) aumentaram com maior intensidade luminosa e com as duas maiores doses de nitrogênio. Durante o dia, não houve efeito significativo. A maior dose de N (180 kg ha^{-1}) aumentou a incidência de pulgões aos 45 dias após emergência. O LED de menor intensidade (121 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) foi o que mais favoreceu o número de grãos por espiga, massa de grãos e massa de 1000 grãos. A combinação de luz e N não promoveu interação significativa para a maioria das variáveis. A suplementação luminosa com LEDs, especialmente em intensidade intermediária, aumentou os teores de clorofila, enquanto o N elevou a produção, mas também a infestação por pulgões. A intensidade luminosa influenciou positivamente os componentes de produção sem alterar a morfologia. A dose de 180 kg ha^{-1} de N apresentou os melhores resultados produtivos, embora tenha elevado a suscetibilidade à praga. O uso de LEDs e manejo adequado do N são estratégias promissoras para trigo em ambiente protegido.

Palavras-chave: LEDs vermelho e azul; fotossíntese; *Triticum aestivum*; *Rhopalosiphum padi*.

ABSTRACT

Wheat (*Triticum aestivum* L.) accounts for approximately 20% of global human calorie and protein consumption, playing a crucial role in world food security. Therefore, understanding the effects of light supplementation and nitrogen fertilization on its development cycle is essential. This study aimed to evaluate the effects of LED light supplementation and different nitrogen rates on gas exchange, chlorophyll indices, aphid (*Rhopalosiphum padi*) incidence, and yield components of the BRS 264 wheat cultivar grown in a protected environment. The experiment was conducted in a greenhouse at IFTM - Uberaba Campus, from May to September 2023. Plants were grown in 40 L pots filled with Red Latosol and cultivated with the BRS 264 variety. A randomized block design was used, in a split-plot scheme, with four replications. Main plots consisted of three levels of LED supplementation with red and blue light (PPFD of 121, 215, and 386 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and one control without artificial light. Subplots received three nitrogen doses (60, 120, and 180 kg ha^{-1}), applied in two split applications. The evaluated variables included *R. padi* incidence, chlorophyll indices (a, b, and total), plant height, stem diameter, daytime and nighttime gas exchange (E, gs, A, Ci), and yield components (number of spikes, number of grains, grains per spike ratio, grain mass, hectoliter weight, and 1000-grain weight). Statistical analysis was performed using ANOVA and generalized linear models (GLM), with Tukey's test ($p < 0.05$). Light supplementation with a PPFD of 215 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ resulted in the highest chlorophyll a, b, and total indices. Morphological variables (height and stem diameter) were not significantly affected by treatments. At night, net photosynthesis (A), stomatal conductance (gs), and transpiration (E) increased with higher light intensity and the two highest nitrogen doses. During the day, no significant effects were observed. The highest nitrogen dose (180 kg ha^{-1}) increased aphid incidence 45 days after emergence. The lowest LED intensity (121 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) favored the number of grains per spike, grain mass, and 1000-grain weight. The combination of light and nitrogen did not result in significant interactions for most variables. LED supplementation, particularly at intermediate intensity, increased chlorophyll content, while nitrogen improved yield but also raised aphid infestation. Light intensity positively influenced yield components without altering plant morphology. The 180 kg ha^{-1} nitrogen dose resulted in the best productive performance, although it increased pest susceptibility. The use of LEDs and appropriate nitrogen management are promising strategies for wheat cultivation in protected environments.

Keywords: red and blue LED; photosynthesis, *Triticum aestivum*, *Rhopalosiphum padi*.

LISTA DE FIGURA

- Figura 1- Germinação das sementes de trigo (A), início da suplementação luminosa (33 dias após emergência, DAE) (B), primeira adubação com N (26 DAE) (C), avaliação de afídeos (45 DAE) (D), avaliação de índices de clorofila (75 DAE) (E), avaliação diurna de trocas gasosas (81 DAE) (F), avaliação noturna de trocas gasosas (87 DAE) (G), colheita do trigo (108 DAE) (H)..... 26

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-	Porcentagem de plantas de trigo BRS 264 com presença de colônias do afídeo <i>R. padi</i> aos 45 (A e C) e 59 dias após emergência (B e D), submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2 e LED 3) (A e B), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (C e D).....	30
Gráfico 2-	Altura em cm (A e B) e diâmetro do caule em mm (C e D) de plantas de trigo BRS 264 aos 108 dias após emergência, submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2 e LED 3) (A), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (B)	32
Gráfico 3-	Índice de clorofila Falker de plantas de trigo BRS 264 aos 75 dias após emergência, submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2 e LED 3) (A, C e E), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (B, D e F). Clorofila a (C _{la}), clorofila b (C _{lb}) e clorofila total (C _{ltotal})	35
Gráfico 4-	Trocas gasosas diurnas (com LEDs desligados) de plantas de trigo BRS 264 aos 81 dias após emergência, submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2, LED 3) (A, C, E e G), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (B, D, F e H). <i>c_i</i> (A e B): concentração interna de CO ₂ em $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{ar}$; E (C e D): taxa de transpiração em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$; <i>g_s</i> (E e F): condutância estomática em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$; A (G e H): taxa de fotossíntese líquida em $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$	37
Gráfico 5-	Trocas gasosas noturnas (com LEDs ligados) de plantas de trigo BRS 2 aos 87 dias após emergência, submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2 e LED 3) (A, C, E e G), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (B, D, F e H). <i>c_i</i> (A e B): concentração interna de CO ₂ em $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{ar}$; E (C e D): taxa de transpiração em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$; <i>g_s</i> (E e F): condutância estomática em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$; A (G e H): taxa de fotossíntese líquida em $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$	41
Gráfico 6-	Número de espigas, número de grãos e relação grãos por espiga em plantas de trigo BRS 264 na colheita aos 109 dias após emergência, submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2 e LED 3) (A, C e E), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (B, D e F).....	45
Gráfico 7-	Massa de grãos, peso do hectolitro (PH) e massa de 1000 grãos (m1000) em plantas de trigo BRS 264 na colheita aos 109 dias após emergência, submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2 e LED 3) (A, C e E), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (B, D e F)	47

LISTA DE TABELA

Tabela 1- Matriz de correlação com coeficientes de Pearson (R) e p-valor entre os componentes de produção de plantas de trigo BRS 264 na colheita aos 109 dias após emergência, submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2 e LED 3), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (60, 120 e 180 kg ha^{-1}).....	43
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	Cultura do trigo - (<i>Triticum aestivum</i> L.)	14
2.2	Influência da população de pulgão no desenvolvimento e produção do trigo	16
2.3	Efetividade fotossintética do trigo	18
2.4	Suplementação luminosa com o uso de diodo emissores de luz (LEDs)	20
2.5	Nitrogênio no desenvolvimento e nutrição do trigo	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1	Suplementação luminosa com LEDs e doses de N no controle dos afídeos de <i>R. padi</i>	29
4.2	A suplementação luminosa com LEDs e doses de N No índice de clorofila, na altura e diâmetro do caule	31
4.3	A suplementação luminosa com LEDs e doses de N nas trocas gasosas	37
4.4	A suplementação luminosa com LEDs e doses de N nos componentes de produção ...	42
5	CONCLUSÕES	49
6	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

O trigo atende por cerca de 20% do consumo humano de calorias e proteínas em todo o mundo (Tilman *et al.*, 2011). Novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para atender às demandas crescentes desse cereal, considerando o crescimento populacional como fazendas verticais e produção em ambiente protegido (Asseng *et al.*, 2020). O diodo emissor de luz, ou LED, do acrônimo em inglês, tem sido extensivamente usado em cultivos controlados pois apresenta baixo consumo de energia e tem alta eficiência luminosa comparado com luzes fluorescentes (Sena *et al.*, 2024). O manejo da radiação e dos comprimentos de ondas são a chave para se maximizar a eficácia da produção vegetal, da sua qualidade e potencial nutritivo das plantas em ambientes controlados (Murad *et al.*, 2021).

Para a maioria das culturas agrícolas, até mesmo um pequeno aumento ou diminuição na intensidade da luz, pode causar mudanças significativas na morfologia e anatomia das plantas, como influenciar nas taxas de fotossíntese, transpiração e condutância estomática das folhas (Wu *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2017). Várias espécies foram estudadas com combinações de luz LED vermelha e azul em diferentes comprimentos de onda e apresentaram aumento na taxa fotossintética (Murad *et al.*, 2021).

A luz azul atua no fototropismo, na morfogênese e na abertura estomática, enquanto a luz vermelha incide sobre os picos de absorção da clorofila e dos fitocromos, sendo determinante nos processos de fotomorfogênese (Sun *et al.*, 1998; Whitelam; Halliday, 2007; Taiz; Zeiger, 2013). A luz de LEDs, assim como a luz solar, causa mudanças morfológicas relacionadas aos processos de fotomorfogênese (por exemplo, plantas estioladas), mas também promovem alterações que afetam o metabolismo, especialmente o antioxidante e de pigmento, bem como a fotossíntese (Rasmusson; Escobar, 2007).

Outro fator de produção chave no trigo é a disponibilidade de nitrogênio (N). Pouco se conhece sobre a disponibilidade de N e a qualidade e quantidade de luz no crescimento e desenvolvimento das plantas. Luzes com diferentes cores têm sido usadas para cultivo de mini trigo, sendo que a combinação de luz branca e vermelha favorece o crescimento, enquanto a branca e azul, a formação de antioxidantes e o valor nutricional (Li *et al.*, 2022). A interação do crescimento de parte aérea e da raiz é mediada por esses dois fatores, luz e N, sendo que a luz vermelha aumenta o crescimento da parte aérea independente da disponibilidade de N e a luz azul favorece o desenvolvimento de raiz (Liang *et al.*, 2022).

A maioria dos resultados revisados dizem respeito ao uso contínuo da luz LED para desenvolvimento do trigo. Mas admite-se que a suplementação luminosa com LED pode

aumentar a taxa líquida de fotossíntese resultando em maior produção de grãos. No entanto, a suplementação luminosa pode alterar a morfologia do trigo pelo aumento do fotoperíodo (Han *et al.*, 2020). Do mesmo modo, maiores fertilizações com N podem resultar em maior produção de biomassa e grãos, mas deve-se considerar que há maiores custos e risco de acamamento bem como aumento de pragas como os afídeos (Sadras *et al.*, 2021).

A cultivar BRS 264, recomendada pela Embrapa para cultivo irrigado no Cerrado, destaca-se pela alta produtividade e ampla adaptação (Albrecht *et al.*, 2006). Estudos realizados demonstram que a adubação nitrogenada em cobertura promove aumentos significativos na produtividade do trigo irrigado, com resposta positiva até a dose de 121,5 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Teixeira-Filho *et al.*, 2010).

No entanto, ainda são escassos os estudos que abordam a interação entre suplementação luminosa com LEDs e diferentes doses de nitrogênio, especialmente em cultivares adaptadas ao Cerrado e em ambiente protegido. Diante desse cenário, este estudo foi conduzido com base na hipótese de que a suplementação luminosa com LEDs, combinada a diferentes doses de nitrogênio via solo, poderia alterar a fotomorfogênese e a fisiologia do trigo, favorecendo a fotossíntese e, conseqüentemente, promovendo maior acúmulo de biomassa e melhoria nos componentes de produção. Nossa hipótese era que: (1) a suplementação luminosa aumentaria os componentes de produção, com efeitos dependentes da intensidade da luz (PPFD); (2) doses crescentes de nitrogênio promoveriam maior produtividade, mas também maior suscetibilidade das plantas à infestação por *Rhopalosiphum padi*; e (3) haveria interação significativa entre os níveis de luz e as doses de nitrogênio, afetando as variáveis fisiológicas, como as trocas gasosas e os índices de clorofila, bem como os componentes de produção.

Esse estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de uma cultivar de trigo (BRS 264) recomendada pela Embrapa para cultivo no bioma Cerrado brasileiro, em estufa agrícola, em vasos, sob suplementação luminosa com LEDs comerciais com três densidades de fluxo fotônico fotossintetizante (PPFD) e três doses de N nas trocas gasosas, índices de clorofila e componentes de produção do trigo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.)

Considera-se que o trigo (*Triticum aestivum* L.) seja originário de gramíneas que se desenvolviam nas proximidades dos rios Tigres e Eufrates (Ásia), por volta dos 10.000 a 15.000 a. C. No entanto, os primeiros registros são datados de 550 anos a. C. (Scheeren; Castro; Caierão, 2015). É um dos cereais mais antigos, originário da antiga Mesopotâmia. O trigo é uma cultura que é utilizada principalmente na alimentação humana e possui em sua composição proteínas, carboidratos, gorduras, elementos minerais e vitaminas (Castro *et al.*, 2008). Sendo considerado um grão básico e mais importante do mundo, na alimentação humana se constitui como a principal fonte de calorias e proteínas vegetal (Curtis *et al.*, 2002).

O trigo possui uma grande versatilidade em seu uso na alimentação humana, podendo ser utilizado na forma de farinha para a panificação, e como agente espessante para molhos, pudins, sopas dentre outros produtos. Também é utilizado na alimentação animal, como forragem ou na composição de rações. O cereal é usado em produtos não alimentícios, como os fármacos, cosméticos, álcool, misturas adesivas e colas. Ademais, tem grande importância na sucessão e rotação de culturas, o que contribui no manejo de pragas, doenças e plantas infestantes (Borém; Scheeren, 2015).

O trigo representa uma das principais culturas alimentares globais, sendo essencial para a segurança alimentar. Para a safra de 2024/25, a produção mundial foi estimada em aproximadamente 795 milhões de toneladas. No mesmo período, a utilização de cereais foi projetada em cerca de 2.868 milhões de toneladas, refletindo um crescimento em relação à safra anterior (FAO, 2025). No Brasil, a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023) estimou um aumento da área plantada para 3,46 milhões de hectares, embora com redução na produção devido a adversidades climáticas (USDA, 2024).

A planta adulta consiste em um caule central que vai até a espiga, do qual emergem as folhas em lados opostos. É composto por segmentos repetidos chamados de fitômetros, sendo que 15 deles contêm um nó e um entrenó oco. A bainha da folha tem sua origem no entrenó e envolve o caule fornecendo suporte para o broto (Austrália, 2008). A folha é composta por bainha, lâmina, lígula e aurículas, sendo dispostas as folhas alternadas, formando ângulos de 180° entre uma folha e outra, até a última que é chamada de folha bandeira. Normalmente pode ocorrer uma variação de três a oito folhas na planta, correspondendo assim ao número de nós (Borém; Scheeren, 2015).

O trigo possui um sistema radicular do tipo fasciculado, que é formado por dois grupos de raízes: as seminais, que se desenvolvem a partir do primórdio da semente, e as permanentes que são originadas das gemas da coroa. A inflorescência é uma espiga composta por duas fileiras de espiguetas, dispostas alternadamente na raque central. A espiguetas é formada por flores e fica presa a ráquila. Na base das espiguetas ficam as glumas que tem a função de proteger as flores da espiguetas sendo que cada flor é formada por um lema e uma pálea, com o gineceu e o androceu entre estas. O grão, denominado cariopse, é a unidade de reprodução do cereal. Ele é um fruto seco, formado a partir da fecundação de apenas uma flor (Borém; Scheeren, 2015; Scheeren *et al.*, 2011; Anderson; Garlinge, 2000).

Os estádios fenológicos do trigo são comumente descritos pela escala de Feekes, proposta por Feekes (1941) e posteriormente detalhada por Large (1954). Essa escala inclui fases como plântula, afilhamento, emborrachamento, espigamento, floração e maturação fisiológica, sendo todas elas essenciais para o manejo adequado da cultura. A escala de Feekes é amplamente utilizada na literatura para orientar práticas agronômicas e decisões de manejo na cultura do trigo.

Quanto ao fotoperíodo do trigo, no geral são plantas de dias longos, resultando em um aumento na taxa de desenvolvimento conforme o fotoperíodo é prolongado, levando a um encurtamento do ciclo até a floração. A resposta a um fotoperíodo mais curto leva a um aumento do número final de folhas em trigos de primavera, sendo essa uma adaptação de longevidade que permite com que as plantas diminuam a taxa de desenvolvimento durante o inverno, em que o fotoperíodo é curto, possibilitando, assim, a antese após o período de inverno no qual há um menor risco de geadas que possam causar danos (Alberto, 2008).

Na região do Cerrado do Brasil Central, a área cultivada com trigo, em sistemas de sequeiro e irrigado, atingiu cerca de 230 mil hectares em 2020, com um crescimento significativo nos últimos anos. A produtividade média no sequeiro é de 1.500 kg ha⁻¹, enquanto no sistema irrigado chega a 6.000 kg ha⁻¹. A região tem um potencial estimado para a produção de trigo de até 2,5 milhões de hectares, o que revela grande oportunidade para expansão da cultura (Albrecht *et al.*, 2021).

A cultivar BRS 264, lançada em 2006, desenvolvida pela Embrapa Cerrados em parceria com a Embrapa Trigo, destaca-se por seu elevado potencial produtivo, adaptabilidade e ciclo superprecoce, com espigamento aos 40 dias e maturação em cerca de 110 dias e com porte médio de 90 cm. Embora seja mais comum em sistemas irrigados, a cultivar também tem demonstrado boa adaptabilidade a diferentes condições ambientais no Cerrado, ampliando seu potencial de cultivo (Albrecht *et al.*, 2006; Albrecht *et al.*, 2021).

No manejo nutricional, estudos indicam que a aplicação de adubação nitrogenada em doses de até 121,5 kg ha⁻¹ pode aumentar significativamente a produtividade, reforçando a importância do manejo eficiente do nitrogênio para o máximo desempenho da cultura no Cerrado (Teixeira-Filho *et al.*, 2010).

2.2 Influência da população de pulgão no desenvolvimento e produção do trigo

Os pulgões são considerados insetos-praga importantes porque podem causar danos diretos e indiretos. Os danos diretos são causados pela sucção de seiva e pela redução da capacidade fotossintética da planta, impactando dessa forma na produção (Abbas; Nias, 2019). Porém, as maiores perdas ocorrem devido aos danos indiretos, como a transmissão do vírus do Nanismo Amarelo da Cevada (VNAC), que é responsável por reduzir em até 85% a produtividade (Nancarrow *et al.*, 2021).

De acordo com Salvadori *et al.* (2006), existem vários insetos que se alimentam de trigo, mas são poucos que atingem o nível para serem consideradas pragas, sendo um deles os pulgões que, frequentemente, atingem o nível de dano econômico e podem ser considerados como a principal praga da cultura.

Segundo Gallo *et al.* (2002), os afídeos que atacam as folhas de trigo são os *Schizaphis graminum*, *Rhopalosiphum padi* e o *Metopolophium dirhodum* (Walker, 1848), os que atacam as espigas é o *Sitobion avenae* (Fabricius, 1794), o *Rhopalosiphum rufiabdominale* (Sasaki, 1899) ataca as raízes do trigo. O *M. dirhodum* e *S. avenae* são considerados os mais importantes. *M. dirhodum* é de coloração verde-pálido a amarelo e com uma faixa verde no dorso, e a forma alada tem coloração castanho-escuro. O pulgão-da-espiga *S. avenae* são verde-escuro, possuindo antenas e sífúnculos pretos. O *S. graminum* apresenta corpo oval, de cor verde clara, apresenta linhas dorsais verdes escuras, antenas escuras e sífúnculos claros com a ponta preta. *R. rufiabdominale* são cinza escuro, suas colônias se formam nas raízes do trigo. Os *R. padi* seu corpo apresenta cor verde-oliva com as bases do sífúnculo e codícola de cores laranja (Gallo *et al.*, 2002).

O controle biológico ocorre naturalmente, agindo como um regulador populacional de pragas pelos seus inimigos naturais. Todas as espécies possuem inimigos naturais em diferentes fases de suas vidas. Os inimigos naturais mantêm a população de insetos-praga equilibrada. O controle biológico deve ser uma ferramenta dentro do Manejo Integrado de Pragas (MIP), juntamente com as demais medidas de controle (Gallo *et al.*, 2002).

Os pulgões podem ser controlados facilmente com aplicações de produtos químicos na parte aérea da planta e altas infestações podem afetar a produtividade. O uso excessivo de inseticidas químicos é uma prática adotada por muitos agricultores para fins de controle de pragas, mas pode ser prejudicial aos inimigos naturais, podendo, dessa forma, causar um desequilíbrio ecológico. Desta forma vemos a importância do MIP, no qual há a realização de amostragens dos níveis de população de pragas realizadas semanalmente, juntamente com o uso de métodos de manejo específicos para determinada situação (Berlatto; Barboza, 2023).

A cultivar BRS 264, desenvolvida para cultivo irrigado no Cerrado, apresenta características de resistência moderada a estresses bióticos, incluindo o ataque de pulgões. No entanto, sua resposta a essa praga depende fortemente das condições nutricionais e ambientais. A adubação nitrogenada excessiva pode favorecer o aumento populacional dos pulgões ao promover maior teor de aminoácidos livres no floema, tornando a planta mais atrativa (Barros *et al.*, 2007; Cisneros; Godfrey, 2001; Sadras *et al.*, 2021).

Estudos mostram que plantas de trigo cultivadas sob altas doses de N apresentam maior concentração de açúcares solúveis e compostos nitrogenados nos tecidos, o que contribui para o aumento do sucesso reprodutivo dos pulgões e redução da resistência da planta ao ataque (Gash, 2012; Ponder *et al.*, 2000). Essa relação é particularmente relevante para a BRS 264, pois sua alta resposta produtiva ao N pode inadvertidamente elevar a suscetibilidade ao ataque em ambientes altamente adubados.

De acordo com Sadras *et al.* (2021), evidenciou-se que o efeito do suprimento de nitrogênio sobre a aptidão de *Rhopalosiphum padi* e *Sitobion avenae* em trigo é condicionado pelo ambiente experimental. As folhas individuais sob confinamento elevadas a altos níveis de nitrogênio foram prejudiciais, enquanto, sob livre mobilidade, o suprimento nitrogenado elevado favoreceu a maior multiplicação dos insetos. A resposta dos pulgões está associada às concentrações relativas de carboidratos lábeis e aminoácidos solúveis no floema, compostos que possuem maior influência do que a razão total carbono-nitrogênio (C:N) da planta. Esses resultados destacam a relevância do manejo nutricional e do monitoramento da população de pulgões no manejo integrado de pragas, especialmente em cultivares com resistência parcial, como a BRS 264.

A adoção de estratégias como equilíbrio nutricional, controle biológico e armadilhas adesivas podem contribuir para mitigar os danos da praga sem comprometer a produtividade potencial da BRS 264. A integração entre práticas culturais e monitoramento técnico é essencial para garantir sustentabilidade e estabilidade na produção tritícola em ambientes tropicais irrigados.

2.3 Efetividade fotossintética do trigo

O trigo é uma gramínea (Poaceae) de ciclo metabólico C3, anual, cultivada predominantemente durante o inverno. Segundo (Braga, 2021), nas plantas com metabolismo C3, um dos principais fatores que limitam a fotossíntese é a disponibilidade nas concentrações ofertadas de CO₂. Sendo assim, plantas que utilizam essa via metabólica tendem a apresentar melhores respostas no seu crescimento quando há incremento do gás no ambiente.

A eficiência fotossintética refere-se à medida da capacidade das plantas de converter energia luminosa em energia química pela fotossíntese. Esse índice pode variar entre 3% e 5%, dependendo da espécie. Algumas culturas apresentam uma eficiência fotossintética superior à média, o que contribui para alcançar maiores rendimentos (Zhang *et al.*, 2022).

A assimilação do dióxido de carbono (CO₂) depende do ganho de carbono por meio da enzima Rubisco (carboxilação/oxigenação), e a perda de CO₂ por meio do processo de fotorrespiração e respiração mitocondrial. A Rubisco é uma enzima bifuncional, portanto, a sua atividade oxigenase/carboxilase aumentam com o seu metabolismo, o que gera perdas de CO₂ causadas pela fotorrespiração. Assim sendo, o aumento da fotorrespiração e a respiração mitocondrial podem limitar as taxas e assimilação de carbono nas plantas C3 em condições de altas temperaturas. No entanto, em relação às plantas C4 essas fazem uso de um mecanismo compartimentado que é capaz de acumular CO₂ ao redor da enzima Rubisco, o que restringe a competição com o oxigênio (O₂) e as taxas de fotorrespiração para superar a limitação à assimilação de CO₂ (Gandin *et al.*, 2014).

Segundo Taiz *et al.* (2017), na resposta de fotossíntese à luz em uma espécie C3, é visto que na ausência de luz, a respiração resulta em um efluxo líquido de CO₂ pela planta. O ponto de compensação da luz é alcançado quando a assimilação fotossintética de CO₂ se iguala à quantidade de CO₂ liberada pela respiração. Quando há o aumento da luz acima do ponto de compensação, a fotossíntese se eleva proporcionalmente, indicando que ela é limitada pela taxa de transporte de elétrons, a qual, por sua vez, é limitada pela quantidade de luz disponível. Outros aumentos na fotossíntese são posteriormente limitados pela capacidade de carboxilação da rubisco ou pelo metabolismo das trioses fosfato. Em trigo (Monostori *et al.*, 2018) observaram que alta intensidade de luz vermelha (~500 μmol m² s⁻¹) aumenta o acúmulo de aminoácidos livres, enquanto luzes vermelhas distantes e azuis sob baixa intensidade, resultam em menores conteúdos de compostos nitrogenados.

Em plantas C3, os principais fatores que modulam a partição de carbono assimilado entre o cloroplasto e o citosol são as concentrações relativas de trioses fosfato e fosfato

inorgânico. A enzima trioses fosfato isomerase interconverte rapidamente a di-hidroxiacetona fosfato e o gliceraldeído-3-fosfato no plastídio e no citosol. O translocador de triose fosfato, um complexo proteico na membrana interna do envoltório do cloroplasto, realiza a troca de trioses fosfato do cloroplasto por fosfatos do citosol. Portanto, as plantas C3 requerem um processo de transporte através do envoltório do cloroplasto para exportar trioses fosfato (três moléculas de CO₂ assimiladas) dos cloroplastos para o citosol (Taiz *et al.*, 2017).

Galmés *et al.* (2016) também discutiram sobre as condições fisiológicas do metabolismo C3 para a fotossíntese, o qual a taxa de fixação de CO₂ é limitada pela carboxilação da Rubisco, que, por sua vez, é limitada por sua capacidade de regeneração (geralmente pela cadeia de transporte de elétrons) ou pela atividade da enzima na carboxilase/oxigenase da Rubisco. As limitações implicam em uma incapacidade de catalisar o processo ou em uma distinção ineficiente entre CO₂ e O₂.

Devido a esse fato, as plantas tentam compensar seu mecanismo acumulando grandes quantidades de rubisco e perdendo quantidades significativas de CO₂ e NH₃, que assimilados anteriormente durante o processo de fotorrespiração. É visto que lentas taxas de catálise e inibição competitiva por O₂ afetam a eficiência do uso de água e nitrogênio pelas plantas (Braga, 2021).

A eficiência fotossintética ótima das plantas C3 normalmente ocorre em temperaturas inferiores à temperatura das plantas C4: em torno de 20 a 25°C e 25 a 35°C, respectivamente. A fotossíntese de plantas com o metabolismo C3, em temperaturas baixas, também pode ser limitada por fatores como a disponibilidade de fosfatos no cloroplasto. Em ambientes em que há uma quantidade adequada de luz, concentrações mais elevadas de CO₂ sustentam taxas fotossintéticas mais altas. O oposto também é verdadeiro, ou seja, baixas concentrações de CO₂ podem limitar a taxa fotossintética em espécies C3. A produtividade quântica máxima teórica esperada para a fotossíntese das espécies C3 é 0,125 (uma molécula de CO₂ fixada por oito fótons absorvidos). No entanto, nas condições atmosféricas atuais (400 ppm de CO₂, 21% de O₂), as produtividades quânticas medidas para CO₂ de folhas C3 e C4, variam de 0,05 a 0,06 mol de CO₂ por mol de fótons. Para as plantas C3, a redução do máximo teórico é ocasionada principalmente pela perda de energia pela fotorrespiração (Taiz; Zeiger, 2013).

A intensidade da luz incidente afeta diretamente o balanço energético da fotossíntese. Em trigo, a saturação fotossintética ocorre em intensidades de PAR entre 1.000 e 1.500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com variações de acordo com o estágio fenológico e a cultivar. Em ambientes protegidos com suplementação luminosa por LEDs, a regulação da intensidade e do espectro pode otimizar a fotossíntese e o crescimento (Murad *et al.*, 2021; Liang *et al.*, 2022).

Estudos demonstram que a luz azul promove maior abertura estomática e fotomorfogênese, enquanto a luz vermelha é mais eficiente na taxa fotossintética bruta. A combinação entre essas faixas espectrais resulta em maior acúmulo de biomassa e eficiência no uso da luz (Goins *et al.*, 1997; Monostori *et al.*, 2018). Por outro lado, ambientes com baixa intensidade ou espectros desbalanceados podem reduzir a expressão de genes ligados à fotossíntese e ao metabolismo de carboidratos (Inagaki *et al.*, 2015).

2.4 Suplementação luminosa com o uso de diodo emissores de luz (LEDs)

O sol é a fonte de luz responsável pela iluminação e pelo calor (Taiz *et al.*, 2017). As plantas utilizam essa fonte de energia no processo de fotossíntese e respondem a essa energia de acordo com a intensidade, comprimento de onda e direção em que é emitida. A luz é um fator de suma importância no desenvolvimento dos processos fisiológicos das plantas, como a fotossíntese (Alvarado, 2023).

Considera-se que o trigo possa responder ao fotoperíodo desde a emergência até o final da fase reprodutiva. O trigo é uma planta de dias longos, ou seja, acelera seu desenvolvimento com o aumento do fotoperíodo, até o limite de 20 horas por dia. No entanto, dependendo do genótipo da planta, a sensibilidade ao fotoperíodo parece ser relativamente independente da fase de desenvolvimento (Inmet, 2009).

A resposta ao fotoperíodo é determinada principalmente pela duração da noite, e pode ser referido como duração crítica do período noturno (Vince-Prue, 1975). Plantas que florescem quando a noite é superior ao período crítico da noite são classificadas como plantas de dia curto (PDC), ao contrário, plantas de dia longo (PDL) florescem quando o comprimento da noite é inferior a duração crítica da noite. Espécies que florescem independentemente do fotoperíodo são descritos como dia-neutro (Vince-Prue, 1975).

A planta, por meio do complexo pigmento/proteína, presente nas folhas conhecido como fitocromo, tem a capacidade de perceber as alterações no comprimento do dia e da noite e modificar seu período fisiológico vegetativo para reprodutivo, ocorrendo, assim a fase de florescimento (Barbosa *et al.*, 2012; Taiz; Zeiger, 2013). As respostas das plantas são desencadeadas por mudanças na intensidade, qualidade, direção e duração da luz e são regidas e conduzidas pelos fotorreceptores especializados. As proteínas fotorreceptoras possuem um pequeno cofator ou molécula cromóforo que lhes permite perceber e responder a comprimentos de onda específicos da luz ao longo de um espectro contínuo (Zanatta, 2021).

A morfogênese das plantas é governada principalmente pelos atributos espectrais associados à capacidade de correspondência da planta com os diferentes tipos de fotorreceptores. O sistema fisiológico da planta é governado por vias, sendo uma delas a de transdução que, dentro do sistema da planta, é recebida e transmitida aos fitocromos sensíveis à luz vermelha/vermelha extrema e os criptocromos que são sensíveis à luz azul, bem como também as fitotropinas. As interações entre os fotorreceptores vermelhos e azuis favorecem a percepção e resposta às condições de luz ambiente (Zanatta, 2021).

Assim, diferentes classes de fotorreceptores, são capazes de perceber faixas específicas do espectro luminoso, incluindo azul (445-500 nm), verde (500-580 nm), vermelho (620-700 nm) e vermelho distante (700-775 nm), enquanto certos fotorreceptores detectam radiação ultravioleta (Zheng; He; Song, 2019). Sendo assim, os diferentes comprimentos de onda apresentam efeito positivo no cultivo agrícola e podem ser empregados para melhorar as condições de cultivo, além de influenciar o metabolismo, a qualidade e o rendimento (Monostori *et al.*, 2018).

A luz é um fator de suma importância no processo de regulação do crescimento e desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas. As respostas morfofisiológicas das plantas, são influenciadas não apenas pela presença, atenuação ou ausência de luz, mas também pela variação na qualidade da luz (Larcher, 2004). Dependendo do comprimento de onda da luz, as plantas desencadeiam respostas específicas. A luz azul (400-500 nm), por exemplo, pode controlar o fototropismo, a expansão foliar, o crescimento do caule e o acúmulo de antocianinas. Já a luz vermelha (660 nm) controla a germinação, o funcionamento do cloroplasto, o crescimento do caule e do pecíolo. Ambos os comprimentos de onda exercem influência na floração e na expressão dos genes (Carvalho; Folta, 2014).

A luz é um dos principais fatores ambientais que regulam o crescimento, o desenvolvimento, a pigmentação e a morfogênese das plantas. Quando há limitação na disponibilidade de luz devido a fatores como localização geográfica, condições climáticas ou instalações inadequadas, surge a necessidade de ambientes controlados. Desta forma, o uso dos LEDs vem sendo amplamente utilizados, devido a sua eficiência e ao baixo custo operacional. Diferentes comprimentos de onda, como o azul, vermelho, verde e vermelho distante, têm mostrado efeitos positivos na morfologia, na eficiência fotossintética, na floração e na produção de metabólitos secundários, contribuindo para a proteção das plantas contra o estresse oxidativo (Murad *et al.*, 2021).

A duração do dia e a distribuição espectral fornecida pelos diodos emissores de luz (LEDs) são fatores ambientais cruciais que afetam o crescimento e desenvolvimento das plantas

na agricultura controlada (Monostori *et al.*, 2018). Os diodos emissores de luz (LEDs) possuem várias vantagens quando comparados aos sistemas de iluminação tradicionais, tais como alta eficiência, longa durabilidade, flexibilidade de cores, redução do consumo de energia elétrica, circuitos eletrônicos mais simples e confiáveis, não geração de calor, dimensões compactas e um baixo impacto ambiental (Carvalho, 2007; Massa *et al.*, 2008).

As respostas das plantas são feitas através de quatro classes de fotorreceptores: os fitocromos, que absorvem predominantemente o comprimento de onda vermelho (650 nm-680 nm) e vermelho extremo (VE, 710 nm-740 nm) e absorvem também azul (425 nm-490 nm); os criptocromos, com picos máximos de absorção no azul (425 nm-490 nm) e na banda do UVA – ultravioleta A (320 nm-400 nm); os fotorreceptores de luz na banda do UVB – ultravioleta B (280 nm-320 nm); e as fotoprinas, que absorvem principalmente luz azul (400 nm-500 nm) (Kerbaudy, 2008; Façanha *et al.*, 2018).

As plantas utilizam a luz como fonte de energia para a fotossíntese e respondem a essa radiação de acordo com sua intensidade, comprimento de onda e direção. A ativação dos fotorreceptores, como os fitocromos e criptocromos mencionados anteriormente, desencadeia uma série de respostas fisiológicas específicas, modulando o crescimento, o desenvolvimento e outros processos metabólicos (Muneer *et al.*, 2014). A qualidade ou intensidade da luz afeta a fotossíntese, que são reações fotoquímicas que ocorrem dentro dos cloroplastos, presentes nas células das plantas (Alvarado, 2023).

Segundo Franklin *et al.* (2007), os processos metabólicos ocorrem em virtude dos ativadores transcricionais que levam a regulação de forma positiva a genes específicos responsáveis pela ativação específica de determinados processos metabólicos específicos. Portanto, as atividades e a síntese de enzimas, possuem alguma ligação com a luz. De acordo com Tovar-Mendez *et al.* (2003) a piruvato desidrogenase é influenciada pela inibição transcricional e pós-transcricional, os quais são dependentes da luz. A assimilação de nitrogênio nas plantas também é fortemente induzida pela luz, por meio da fotossíntese bem como o poder redutor (NADPH) e a energia (ATP) necessários para o funcionamento de diversas enzimas e proteínas envolvidas na etapa de assimilação de nitrogênio (Taiz; Zeiger, 2013).

A assimilação de nitrato e a incorporação de nitrogênio em aminoácidos necessitam tanto da capacidade redutora quanto da energia proveniente da fotossíntese. Por isso, é possível monitorar o efeito das condições de luz no metabolismo, medindo os níveis de aminoácidos livres, sendo que a sua disponibilidade é essencial para a síntese de proteínas e outros metabólitos. A maior atividade fotossintética induzida pela maior intensidade de luz do regime

RedHL (*Red High Light*, ou luz vermelha de alta intensidade) foi acompanhada por um maior conteúdo total de aminoácidos livres (Monostori *et al.*, 2018).

2.5 Nitrogênio no desenvolvimento e nutrição do Trigo

O nitrogênio é um dos nutrientes minerais mais demandados, exercendo papel fundamental no crescimento e desenvolvimento das plantas. Esse elemento mineral é um componente importante dos cloroplastos, proteínas, ácidos nucleicos e diversos metabólitos secundários. Dentre as formas disponíveis no solo, o nitrato de amônio são as principais fontes de nitrogênio absorvidas pelas plantas, sendo que o nitrato, além de nutriente, pode atuar como uma molécula sinalizadora (Guan *et al.*, 2025).

Os cloroplastos utilizam a energia luminosa para transformar dióxido de carbono e água em hexoses, que são então usadas como blocos de construção para a síntese de compostos como sacarose, trealose-6-fosfato (Tre6P) e amido. Esses fotoassimilados, que atuam como "mensageiros de energia", possuem também a função regulatória, participando do controle da absorção e da assimilação de nitrogênio pelas plantas (Guan *et al.*, 2025)

O aumento na produção de uma determinada cultura provém da combinação de vários fatores, desde o uso de cultivares adaptadas às condições locais, boa fertilidade do solo e um manejo rigoroso de pragas e doenças. Um dos fatores importantes para aumentar os ganhos de produtividade está no manejo adequado da adubação nitrogenada. Principalmente pelo fato de o nitrogênio ser é um elemento que é absorvido em grandes quantidades, garantindo assim as melhores respostas em termos de rendimento (Mumbach, 2017).

A disponibilidade de nitrogênio em quantidade adequada para a planta é o principal fator determinante do rendimento potencial da cultura do trigo. O nitrogênio desempenha um papel fundamental porque é o nutriente encontrado em maior concentração nos tecidos vegetativos e nos grãos, caracterizando desta forma como sendo o elemento mais demandado pela planta de trigo. O nitrogênio está envolvido na síntese de proteínas, clorofila, coenzimas, fitohormônios, ácidos nucleicos e metabólitos secundários (Marschner, 2012).

O consumo de N está diretamente relacionado à eficiência da produção de biomassa; nas plantas C₃, como o trigo, metade do total de nitrogênio assimilado é consumido durante a síntese de enzimas na fase de carboxilação. O nitrogênio também é considerado um elemento essencial para as plantas, uma vez que está presente na composição das mais importantes biomoléculas, como ATP, NADH, NADPH, clorofilas, proteínas e inúmeras enzimas (Batista *et al.*, 2012).

Na litosfera, o nitrogênio está distribuído nas rochas, no fundo dos oceanos e nos sedimentos. Este compartimento, representado pela crosta, contém 98% do nitrogênio existente no planeta. Na atmosfera, onde o nitrogênio está presente como gás (N_2 , 78 %), seu estoque é cerca de um milhão de vezes maior que o nitrogênio total contido nos organismos vivos. Apesar de ser abundante na atmosfera, o nitrogênio é um dos nutrientes mais limitante ao crescimento das plantas. Isso ocorre porque o N_2 não pode ser utilizado pela maioria dos organismos, devido a ligação tripla entre os átomos de nitrogênio ($N\equiv N$), o que torna a molécula quase inerte. Para quebrá-la, de modo que seus átomos possam combinar com outros átomos, são necessárias quantidades substanciais de energia (Vieira, 2017).

Como fertilizante, a ureia é comumente aplicada no solo, onde passa por um processo chamado hidrólise, que é mediado pela enzima urease presente nos microrganismos do solo. Durante o processo de hidrólise da ureia, gera-se carbamato e amônia (NH_3) e, na presença de água, o carbamato se transforma em CO_2 e a NH_3 em amônio (NH_4^+). Esse processo resulta inicialmente na disponibilização de nitrogênio na forma amoniacal (NH_4^+), que posteriormente pode ser convertido em nitrato (NO_3^-) por meio do processo de nitrificação. Ambas as formas de nitrogênio são requeridas e desempenham funções específicas no desenvolvimento das plantas (Martins, 2015).

Nas plantas, o nitrogênio é constituinte de clorofilas, proteínas, enzimas, DNA e RNA, sendo essencial para processos metabólicos, bioquímicos e fisiológicos. Por esse motivo, é o nutriente mais acumulado na maioria das plantas cultivadas (Marschner; Kirkby; Cakmak, 1996; Hawkesford *et al.*, 2012; Elazab *et al.*, 2016; Gabriel *et al.*, 2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Câmpus Uberaba, em estufa agrícola tipo arco, com 51 m de comprimento por 14 m de largura, pé-direito de 3,5 m, com cobertura de plástico transparente (espessura de 150 micras) e telas laterais (sombreamento 50%), durante o período de maio a setembro (outono-inverno) de 2023. A estufa está localizada nas coordenadas centrais 19°39'37,4" S e 47°58'1,3" W. O clima da região é do tipo Aw (Köppen), caracterizado por um período frio e seco, que compreende os meses de abril a setembro, e outro quente e úmido, entre os meses de outubro a março (Beck *et al.*, 2018).

Foram utilizados noventa e seis vasos plásticos de 40L preenchidos com solo do tipo Latossolo Vermelho de textura média. Restos de plantas de soja do experimento anterior foram retirados e a superfície do solo foi escarificada. Foi então aplicado superfosfato simples na dose de 7,7 g vaso⁻¹ em 31/05/23 (equivalente a 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Uma nova escarificação foi feita para incorporação do fertilizante fosfatado aplicado. A semeadura foi realizada em 06/06/23 em oito covas por vaso e em cada cova foram colocadas três sementes da cultivar de trigo BRS 264, precoce com alto rendimento de grãos e indicada para a região do Cerrado.

A irrigação foi realizada diariamente, via gotejamento, em três turnos diários de 30 minutos cada, utilizando dois emissores por vaso com vazão de 2,2 L hora⁻¹ por emissor. Os vasos foram mantidos sobre estrados de madeira tipo pallet. O desbaste das plantas foi realizado aos 18 DAE (Dias Após a Emergência), em 28/06/23, deixando-se uma planta por cova, totalizando oito plantas por vaso (Figura 1A).

Figura 1- Germinação das sementes de trigo (A), início da suplementação luminosa (33 dias após emergência, DAE) (B), primeira adubação com N (26 DAE) (C), avaliação de afídeos (45 DAE) (D), avaliação de índices de clorofila (75 DAE) (E), avaliação diurna de trocas gasosas (81 DAE) (F), avaliação noturna de trocas gasosas (87 DAE) (G), colheita do trigo (108 DAE) (H)



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Adotou-se delineamento em blocos ao acaso em subparcelas e quatro repetições. Cada parcela foi formada por seis vasos e a subparcela por dois vasos. O tratamento principal aplicado às parcelas foram os testes com luzes artificiais com três tipos de refletores de LEDs vermelho e azul: COB-UT01 (LED 1), COB-UTA02 (LED 2) e COB-UT03 (LED 3) (Figura 1B) e um controle sem luz artificial. O tratamento secundário aplicado às subparcelas constou de três doses de nitrogênio (N), sendo que foram usados ureia (equivalente a 60kg/N/ha), dividida em

duas aplicações, aos 26 e 57 dias após a emergência, sendo realizadas em via solução por vaso utilizando 100 ml de solução para cada vaso.

Aos 26 DAE, 6 de julho, foi feita a adubação com ureia e cloreto de potássio (Figura 1C). Empregaram-se 36,9; 73,8; 110,8 g de ureia e 93,3 g de cloreto em 4 l de água e aplicou-se 100 ml da solução com os fertilizantes por vaso, com proveta. Isso equivale a 100 kg ha⁻¹ de K₂O e metade da dose de N testada. Aos 57 DAE, em 6 de agosto foi realizada a segunda aplicação de ureia com as mesmas três doses descritas (36,9; 73,8; 110,8 g). A dose total equivalente de N foi de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ (tratamento secundário nas sub-parcelas).

Iniciou-se a suplementação de luz aos 33 DAE, no dia 13/07/23 a 50 cm do ápice das plantas, com refletores de LED COB GROW (diodos Bridgelux Red & Blue) da marca Master Plants[®]. O refletor COB-UT01 possui potência de 50W, 1 diodo de fluxo luminoso vermelho e azul de 6.000 lúmens e dimensões de 205x185x25 mm. O refletor COB-UTA02 possui potência de 100W, 2 diodos de fluxo luminoso vermelho e azul de 10.000 lúmens e dimensões de 270x185x25 mm. O refletor COB-UT03 possui potência de 150W, 3 diodos de fluxo luminoso vermelho e azul de 15.000 lúmens e dimensões de 270x185x25 mm. A 30 cm de distância, os três refletores (LED 1, 2 e 3) entregam densidades médias de fluxo fotônico fotossintetizante (PPFD) de 121 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, 215 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ e 386 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, respectivamente. Sobre cada parcela havia um conjunto com quatro refletores que eram ligados automaticamente das 16:00h às 20:00h.

Aos 45 DAE (25 de julho) e 59 DAE (8 de agosto) cinco plantas de cada vaso foram avaliadas quanto a presença de afídeos (Figura 1D). Obteve-se assim a proporção de plantas infestadas por esses insetos em cada subparcela e parcela. Foram posteriormente identificados como *R. padi*. Com 64 DAE (13 de agosto), as plantas foram pulverizadas com o inseticida Karate[®] 50 CS (lambda-cialotrina, 50 g L⁻¹), na dose de 100 mL ha⁻¹, e, para o controle de doenças, com o fungicida Cronnos[®] (picoxistrobina, 26,66 g L⁻¹; tebuconazol, 33,33 g L⁻¹; mancozebe, 400 g L⁻¹), na dose de 3 L ha⁻¹.

As avaliações finais iniciam aos 75 DAE em 24/08/2023 momento em que foram feitas as medições do índice de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total com clorofiLOG (CFL1030 da Falker[®], Brasil), na folha bandeira, entre 08:00h e 10:00h. Em uma planta por vaso foram feitas cinco medições no mesmo ponto (Figura 1E). Obteve-se assim a média dos índices de 10 medições na subparcela e de 30 medições na parcela.

As medições de trocas gasosas foram realizadas pela manhã entre as 7:00 e 9:00h, aos 81 e 82 DAE (30 e 31 de agosto) (Figura 1F) e no período da noite 87 DAE (05 de setembro) das 18 às 20:00h com os LEDs ligados (Figura 1G), com um analisador de gases por

infravermelho - IRGA (modelo LCi T; da ADC, Analytical Development Co. Ltd., Hoddesdon, UK). Em ambos os horários foi avaliada uma folha bandeira por vaso e nela tomou-se cinco medições no mesmo ponto. Avaliou-se: taxa de transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de fotossíntese líquida (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$). Das quatro variáveis obteve-se médias de 10 leituras na subparcela e de 30 leituras na parcela.

Aos 108 DAE, em 26 de setembro, mediu-se o diâmetro de caule e a altura de cinco afilhos por vaso. A colheita das espigas do trigo foi realizada aos 109 DAE, em 27 de setembro (Figura 1H). As espigas foram colocadas em sacos de papel e levadas ao laboratório. No laboratório foi realizada a contagem das espigas e posteriormente, foi feita debulha manual dos grãos sobre peneira. Os grãos de cada vaso foram contados e pesados em balança analítica. A umidade dos grãos foi medida em analisador de umidade e impurezas (modelo G650i, Gehaka) e ajustada para umidade de 13%.

Os dados foram organizados em planilhas de Excel e submetidos às análises estatísticas com software R (R Core Team, 2019). A variável porcentagem de plantas com afídeos não atendeu aos pressupostos da ANOVA e foram submetidas ao teste de deviance com modelos lineares generalizados (MLG) e teste de Tukey modificado ($p < 0,05$). As demais variáveis foram submetidas à ANOVA com teste F e teste de Tukey ($p < 0,05$). Os gráficos foram construídos com o programa Jamovi (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Suplementação luminosa com LEDs e doses de N no controle dos afídeos de *R. padi*

A proporção (%) de plantas de trigo BRS 264 com colônias do afídeo *R. padi*, aos 45 DAE, foi maior no controle (1,73%) que no tratamento com PPFD de $121 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ (0,17%) (Gráfico 1A). Os tratamentos com PPFDs de 215 e $386 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, não diferiram entre si, e também não diferiram do PPFD de $121 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ e do controle (Gráfico 1A). O efeito da dose de nitrogênio (N) foi significativo aos 45 DAE quando as plantas que receberam maior dose, 180 kg ha^{-1} , apresentaram maior incidência de colônias de *R. padi* (1,25%) que as plantas que receberam a menor dose (60 kg ha^{-1}) (Gráfico 1C).

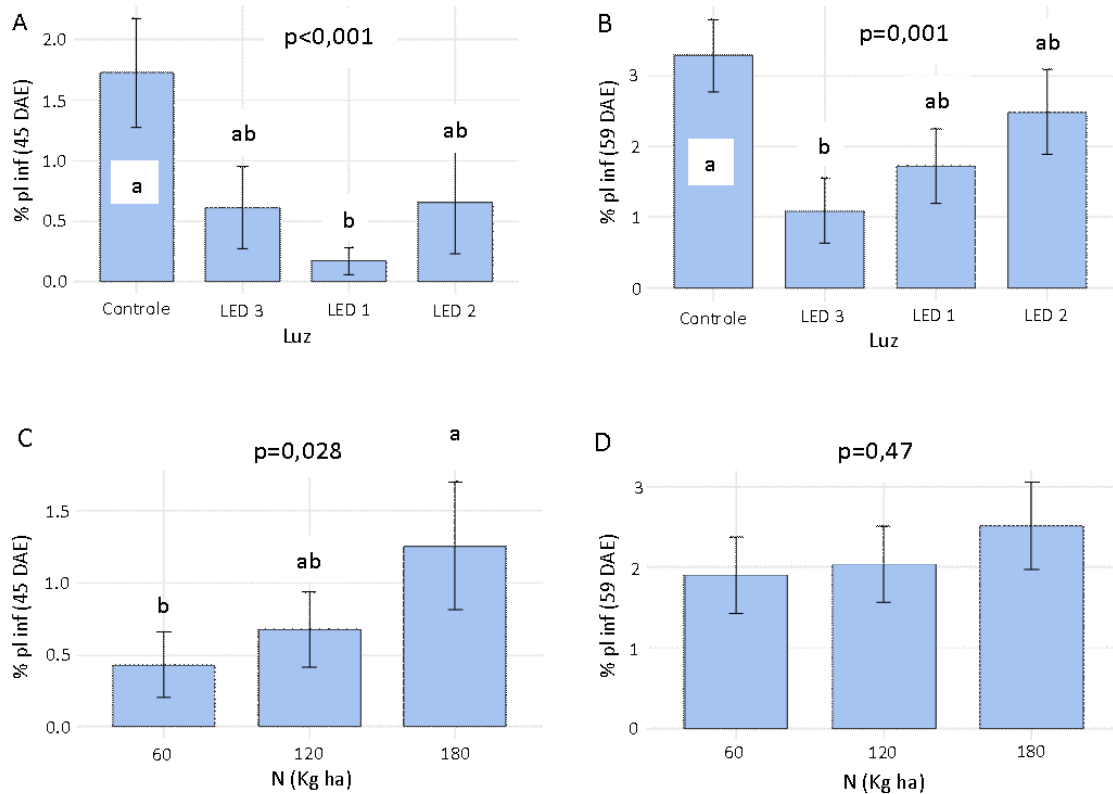
Aos 59 DAE, o controle apresentou a maior incidência de colônias do afídeo (3,29%) quando comparado às plantas do tratamento PPFD de $386 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ (1,09%) (Gráfico 1B). Os tratamentos PPFD de $121 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ e $215 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ não diferem entre si e não diferiram do PPFD de $386 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ e do controle (Gráfico 1B). Apesar de a proporção de plantas de trigo com colônias de *R. padi* ter quase dobrado (tratamento controle) de 1,73% aos 45 DAE para 3,29% aos 59 DAE, não houve efeito significativo das doses de N nessa última avaliação (Gráfico 1D). Nas semanas seguintes observou-se alto parasitismo dos afídeos o que impediu novas avaliações da praga. Também houve pulverização de inseticida.

Os resultados apresentados sugerem que a suplementação luminosa com LEDs reduziu a incidência de colônias do afídeo *R. padi*, quando comparados ao controle. Resultados semelhantes foram observados por Yang, Lee e Lee (2015), que investigaram o comportamento fototático de *Myzus persicae* sob diferentes espectros de luz LED. Os autores demonstraram que a coloração da luz influencia significativamente a atratividade dos pulgões e o tempo de permanência nas plantas hospedeiras, sendo a luz verde (520 nm) a mais atrativa, seguida pelas luzes azul, amarela e vermelha.

De forma complementar, Lazzarin *et al.* (2020) demonstraram que a radiação proveniente de LEDs pode modular a emissão de compostos voláteis vegetais (VOCs e HIPVs), alterando significativamente a atratividade das plantas para insetos herbívoros, como pulgões. Os autores destacam que espectros específicos, como a luz far-red, podem suprimir rotas hormonais de defesa e reduzir a liberação de sinais químicos atrativos a inimigos naturais, enquanto luzes azul e vermelha tendem a intensificar a emissão de voláteis defensivos. Esses achados reforçam a hipótese de que a suplementação luminosa interfere nas interações planta-

inseto, especialmente em estágios iniciais do cultivo, como observado aos 45 dias após a emergência (DAE) neste estudo.

Gráfico 1- Porcentagem de plantas de trigo BRS 264 com presença de colônias do afídeo *R. padi* aos 45 (A e C) e 59 dias após emergência (B e D), submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2 e LED 3) (A e B), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (C e D).



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Nota: p-valor da análise de deviance (mlg) e teste de Tukey modificado ($p < 0,05$).

Quanto à fertilização, a maior dose de N aumentou os afídeos, como demonstrado pela maior incidência nas plantas com 180 kg ha^{-1} , o que está de acordo com os achados de Aqueel e Leather (2011), os quais demonstraram que fertilizações nitrogenadas elevadas favorecem a reprodução e desenvolvimento de *R. padi* em gramíneas.

Estudos com o afídeo *R. padi* confinado em folha foi prejudicado por altas concentrações de N; no entanto, em experimento com escolha, folhas com alto teor de N favoreceram sua reprodução e os insetos se estabeleceram em locais mais adequados para sua alimentação (Sadras *et al.*, 2021). Comparado à plantas de cevada deficientes em N, *R. padi*

apresentou maior taxa de crescimento em plantas cultivadas em hidroponia (8 mM NH_4NO_3) que apresentaram maiores concentrações de aminoácidos não essenciais (Ponder *et al.*, 2000).

A aplicação de fertilizantes nitrogenados aumenta a concentração de aminoácidos na seiva do floema. Em uma pesquisa realizada com o pulgão *R. padi*, foi observado que as plantas com deficiência de nitrogênio tinham concentrações menores de aminoácidos e os pulgões apresentaram uma taxa intrínseca de aumento significativamente mais baixa. Para outra espécie de afídeo em trigo, *Metopolophium dirhodum*, houve aumento da fecundidade porém não da longevidade com aumento das doses de N (Gash, 2012).

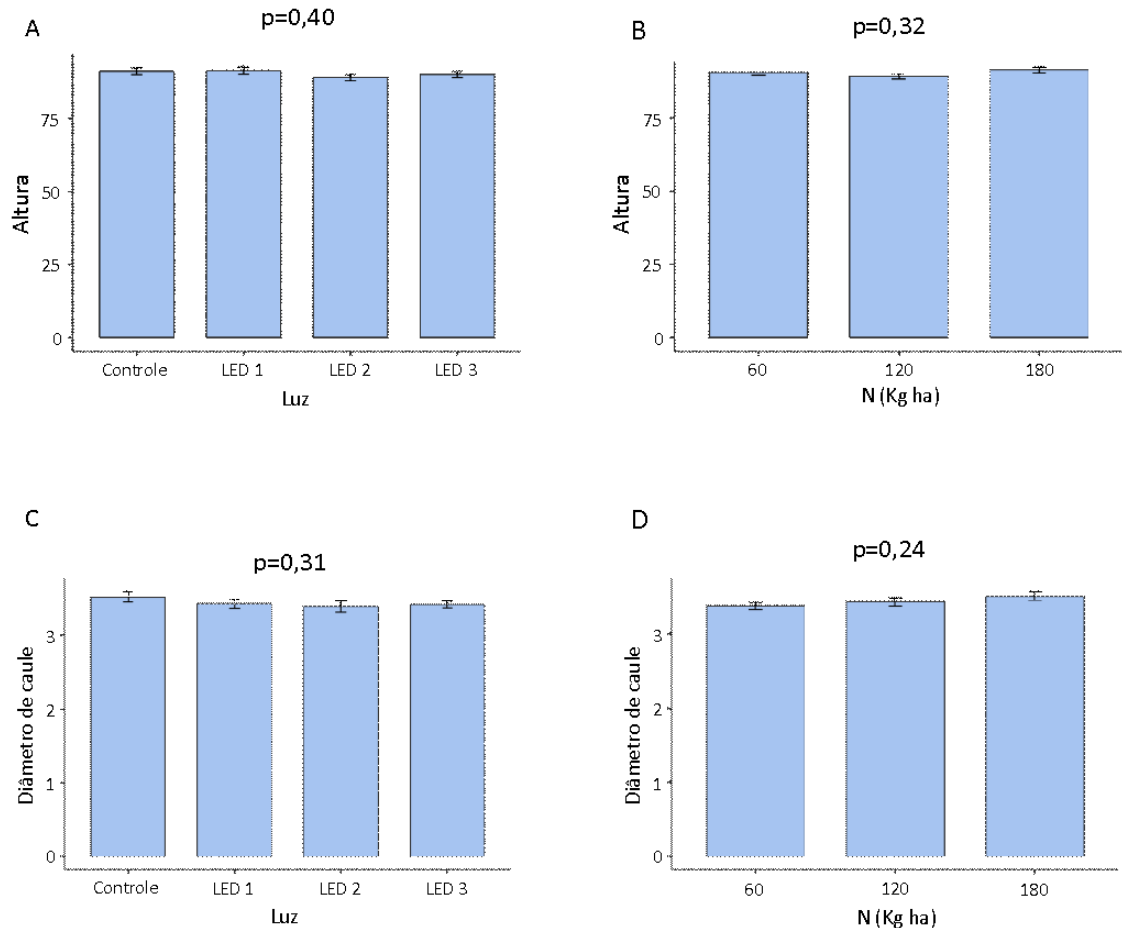
Em algodão, foi observado aumento da densidade de *Aphis gossypii*, passando de 81 afídeos por folha com 57 kg ha^{-1} de N, para 287 pulgões por folha com 227 kg ha^{-1} de N (Cisneros; Godfrey, 2001). Também a fecundidade de *A. gossypii* aumentou de 20 para 60 ninfas por fêmea com doses de 50 e 200 kg ha^{-1} de N (Barros *et al.*, 2007).

4.2 A suplementação luminosa com LEDs e doses de N No índice de clorofila, na altura e diâmetro do caule

Os tratamentos de suplementação luminosa não afetaram a altura das plantas de trigo (Gráfico 2A) bem como as doses de N (Gráfico 2B) aos 108 DAE. Não houve também diferenças significativas para a variável diâmetro de caule, nem efeito dos LEDs (Gráfico 2C) nem de doses de N (Gráfico 2D). A altura média das plantas de trigo considerando todos os tratamentos foi 90,4 cm e o diâmetro do caule 3,44 mm.

O aumento da altura de plantas de trigo está relacionado ao risco de acamamento. Plantas que receberam doses mais altas de N e maior volume de irrigação ficaram mais altas que aquelas sob regimes mais baixos (Li *et al.*, 2022). Esses autores apontam que 240 kg ha^{-1} de N, entre 160, 240 e 360, e irrigação de $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ resultaram na maior produção de grãos e caules mais fortes. Apesar do risco de acamamento, plantas mais altas tendem a ser mais produtivas. A dose de 225 kg ha^{-1} N foi considerada adequada para uma alta densidade de plantas ($180 \times 10^4 \text{ ha}^{-1}$) desde que haja resistência ao acamamento (Zhang *et al.*, 2017). Não houve diferenças de alturas do trigo em duas safras com doses de 180, 225 e 270 kg ha^{-1} N, sendo que a média em 2012/13 foi de 90 cm e no ano seguinte 95 cm (Zhang *et al.*, 2017). No presente estudo a média geral foi de 90,4 cm.

Gráfico 2- Altura em cm (A e B) e diâmetro do caule em mm (C e D) de plantas de trigo BRS 264 aos 108 dias após emergência, submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2 e LED 3) (A), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (B)



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Nota: *p-valor da análise de variâncias (teste F).

Em um dos estudos pioneiros com uso exclusivo de LEDs, em foguetes e ambientes controlados, o LED vermelho foi suficiente para que o trigo completasse seu ciclo de vida, mas plantas maiores com mais grãos foram observadas sob LED vermelho suplementado com luz azul (Goins *et al.*, 1997). O ambiente luminoso pode afetar as respostas morfológicas das plantas, incluindo aspectos como a ramificação ou perfilhamento dos brotos, alongamento do caule e indução da floração. Essas respostas são mediadas por vários fotorreceptores, como os fitocromos, que são principalmente sensíveis às proporções de luz vermelho/vermelho distante, à luz azul e pigmentos fotossintéticos (Salvador *et al.*, 2008).

A composição espectral tem efeito mais significativo do que a intensidade da luz no alongamento do caule e resultou em maior variação na altura da planta, quando cultivadas sob

o regime LED vermelho distante e menores alterações na altura das plantas quando cultivadas sob LED azul (Monostori *et al.*, 2018).

O alongamento do caule é regulado pela ação de vários fotossensores de maneira sequencial e coordenada (Folta; Childers, 2008). Os fitocromos sensíveis à luz vermelha e vermelha distante e as fototropinas e criptocromos sensíveis à luz azul contribuem para a rápida inibição do alongamento do caule (Parks *et al.*, 2001). Por outro lado, a luz verde antagoniza a inibição do alongamento induzida pelo azul e vermelho (Folta, 2004). O vermelho distante favoreceu o alongamento do caule enquanto o azul inibiu o alongamento do caule (Monostori *et al.*, 2018).

A luz vermelha promoveu o crescimento das mudas de trigo, resultando no aumento da altura, área foliar, brotação e massa sob LEDs branco e vermelho (Li *et al.*, 2022). Por outro lado, a combinação de luz LED azul e branco mostrou-se prejudicial ao crescimento do trigo (Wollaeger; Runkle, 2015). Esse resultado negativo pode ser atribuído ao efeito inibitório da alta proporção de luz azul emitida pelos LEDs branco e azul.

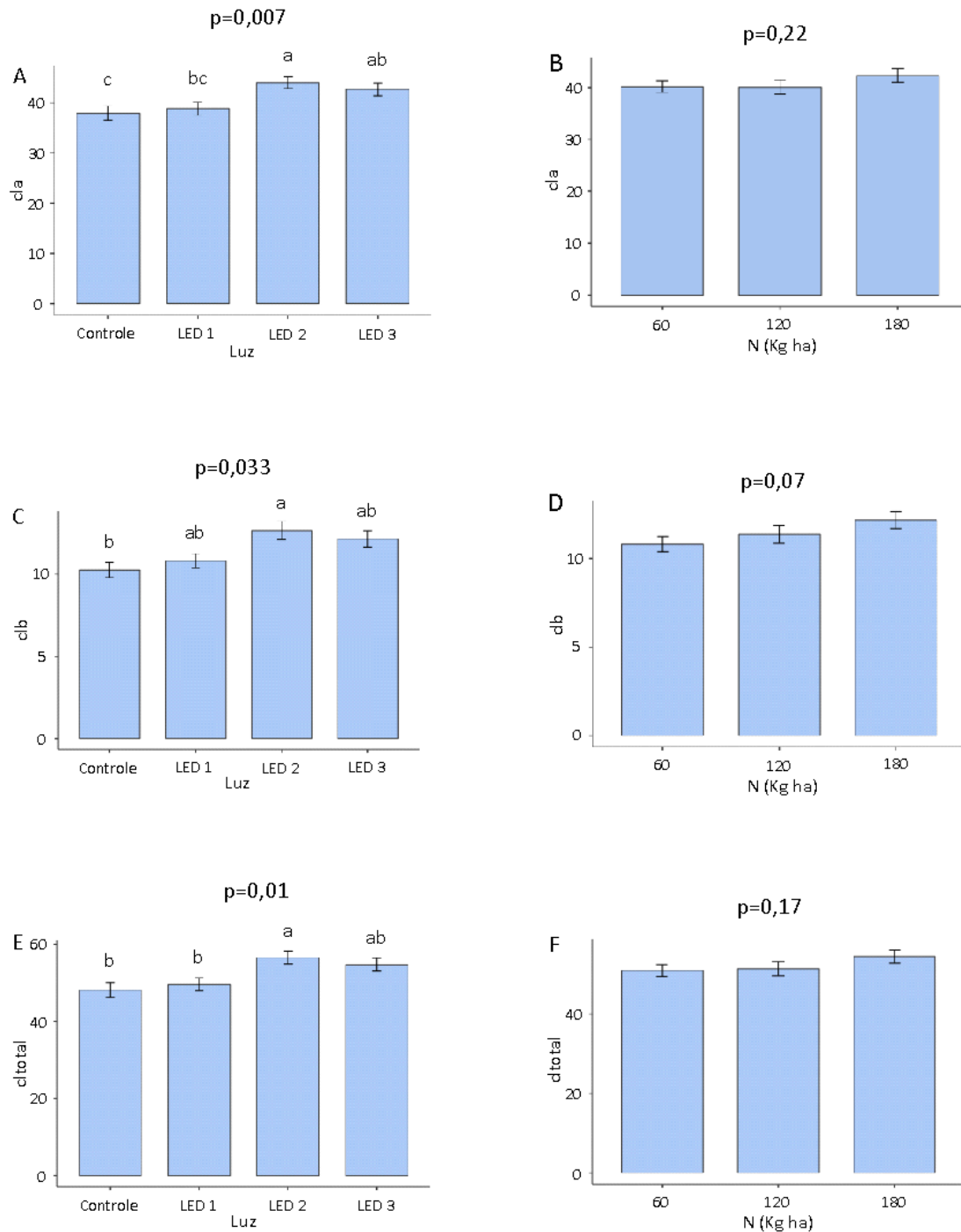
De forma complementar, Li *et al.* (2022) observaram que plântulas de trigo submetidas a tratamentos com luz branca suplementada com vermelho e com azul apresentaram respostas distintas: a suplementação com vermelho, cuja composição espectral apresenta uma proporção aproximada de 3:1 entre vermelho e azul, promoveu equilíbrio entre crescimento aéreo e radicular, além de maiores teores de clorofila. Tratamentos com luz branca suplementada com vermelho favoreceram a alongação do caule, enquanto a suplementação com azul estimulou o crescimento radicular e a atividade antioxidante. Esses dados reforçam que a composição espectral exerce influência significativa sobre o desenvolvimento morfológico do trigo, embora os efeitos dependam do tempo de exposição e da fase fenológica.

Portanto, a ausência de resposta morfológica significativa no presente estudo pode estar associada ao tempo relativamente curto de exposição à luz suplementar (4 horas por dia) e ao fato de a suplementação ter sido iniciada apenas aos 33 dias após a emergência (DAE), quando as plantas já haviam atingido cerca de 50 cm de altura. Li *et al.* (2022) também identificaram que a luz azul elevou os níveis de antioxidantes e a atividade de enzimas relacionadas à defesa nas plântulas de trigo, indicando efeitos fisiológicos importantes que podem não se refletir diretamente em alterações morfológicas mensuráveis em estágios mais avançados do desenvolvimento.

As plantas que receberam a suplementação luminosa com PPFD de $215 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ (43,9) e $386 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ (42,6) apresentaram maiores índices de clorofila *a* em relação ao controle (37,9) (Gráfico 3A). O tratamento com PPFD de $121 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ não diferiu dos

tratamentos PPFd ($386 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) e controle (Gráfico 3A). As doses de N estudadas não alteraram o índice médio de clorofila *a* das plantas aos 75 DAE (Gráfico 3B). Para o índice de clorofila *b*, o tratamento PPFd de $215 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ (12,7) foi 23,3% superior em relação ao tratamento controle (10,3), já os tratamentos PPFds de 121 e $386 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ não diferiram entre si e dos demais tratamentos (Gráfico 3C). Do mesmo modo que ocorreu com a clorofila *a*, não houve efeito significativo das doses de N no índice de clorofila *b* (Gráfico 3D). Para o índice de clorofila total, o tratamento PPFd de $215 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ (56,6) apresentou-se 17,5% superior ao tratamento controle (48,2) e foi maior que o tratamento PPFd de $121 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ (49,6) (Gráfico 3E). O tratamento PPFd de $386 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ não diferiu dos demais tratamentos (Gráfico 3E). Maiores doses de N não aumentaram significativamente o índice de clorofila total do trigo aos 75 DAE, apesar da maior dose ter resultado em índice médio de 54,5 e o controle em 50,9 (Gráfico 3F).

Gráfico 3- Índice de clorofila Falker de plantas de trigo BRS 264 aos 75 dias após emergência, submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2 e LED 3) (A, C e E), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (B, D e F). Clorofila a (Cl_a), clorofila b (Cl_b) e clorofila total (Cl_{total})



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Nota: p-valor da análise de variâncias (teste F) e letras pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Esses resultados corroboram os achados de Li *et al.* (2022), que demonstraram que a luz branca suplementada com luz vermelha ou luz azul, promoveu maior conteúdo de clorofila total em plântulas de trigo, além de favorecer o equilíbrio entre crescimento vegetativo e radicular. No presente estudo, a intensidade de $215 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ parece ter promovido um ambiente favorável para a síntese de pigmentos fotossintéticos sem induzir efeitos negativos ou estresse luminoso, como pode ocorrer sob intensidades mais altas, como $386 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Do ponto de vista fisiológico, a maior concentração de clorofila b observada pode estar relacionada ao aprimoramento da captação de luz em comprimentos de onda mais curtos, como a luz azul, que exerce efeitos sinérgicos no aparato fotossintético. Essa interpretação é consistente com os resultados de (Li *et al.*, 2022), que demonstraram a influência positiva da luz azul na biossíntese de pigmentos e na atividade antioxidante em plântulas de trigo. A composição espectral e sua interação com a intensidade luminosa são determinantes na modulação de respostas fotobiológicas, como já demonstrado por (Monostori *et al.*, 2018), que observaram alterações na concentração de pigmentos e rendimento de trigo sob diferentes regimes de LED.

A ausência de efeito significativo das doses de nitrogênio sobre os índices de clorofila pode estar associada à suficiência nutricional geral do sistema, uma vez que todos os tratamentos foram conduzidos em solo previamente adubado e as plantas estavam bem desenvolvidas na fase de avaliação. Resultados semelhantes foram observados por Qin *et al.* (2024), que destacaram que, sob condições irrigadas e suprimento adequado de N, o acúmulo de pigmentos pode não responder de forma linear ao aumento da adubação nitrogenada. Além disso, Liu *et al.* (2022) enfatizam que, em estágios mais avançados do ciclo, a resposta da clorofila ao N pode ser mascarada por limitações impostas por outros fatores, como intensidade de luz e idade foliar.

Os maiores conteúdos de clorofila *a* na primeira folha de trigo jovem foram observados em PPFs de 82 a $261 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e a clorofila *b* em $82 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Han *et al.*, 2020). No presente trabalho PPFs maiores, LED 3 com $386 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, não aumentaram o índice de clorofilas na folha bandeira em plantas maduras. A utilização de LEDs resultou em menor síntese de pigmentos fotossintéticos, clorofilas *a* e *b* e carotenoides, em comparação com a luz branca fluorescente, com exceção do vermelho de alta intensidade de luz (Monostori *et al.*, 2018). Do mesmo modo, o menor teor das clorofilas foi obtido no vermelho distante, porém, não houve diferença significativa em relação à cor rosa. Essas alterações podem estar relacionadas à inibição mediada pelo fitocromo da biossíntese de clorofila (Inagaki *et al.*, 2015)

ou a um acúmulo de carotenoides induzido pela luz para proteger o aparelho fotossintético da luz intensa (Steiger *et al.*, 1999). Segundo Zanatta (2021), algo que pode influenciar e reduzir a quantidade de clorofilas *a* é o excesso de luz vermelha além da capacidade fotossintética da planta.

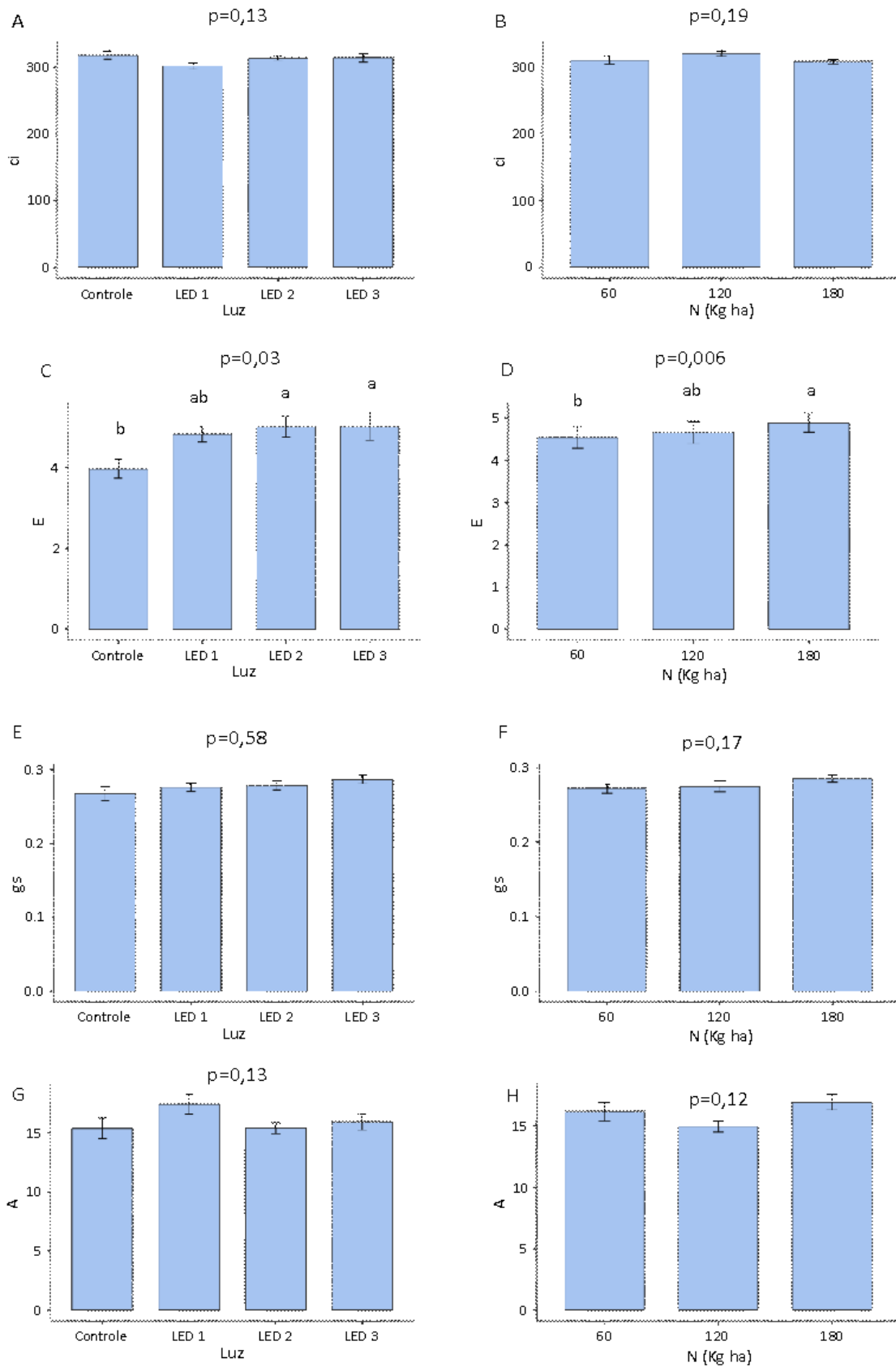
As plântulas de trigo que germinaram sob luz LED vermelho não conseguiram produzir clorofila de forma eficiente; porém, quando receberam a suplementação com luz LED azul restaurou-se a síntese de clorofila nas plantas (Tripathy; Brown, 1995).

4.3 A suplementação luminosa com LEDs e doses de N nas trocas gasosas

Nas trocas gasosas avaliadas durante o dia (manhã), não houve diferença na variável concentração interna de CO₂ (Gráfico 4A e 4B). Mas os tratamentos afetaram a taxa de transpiração das folhas, tanto a suplementação de luz quanto as doses de N. Os tratamentos com PPFD de 215 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ (5,0 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e 386 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ (5,0) tiveram 26% a mais de transpiração que o tratamento controle (3,97). O tratamento PPFD 121 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ (4,82) apresentou incremento em relação ao controle, porém este tratamento não diferiu estatisticamente dos demais (Gráfico 4C). A maior dose de N (4,89 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) aumentou significativamente a transpiração em relação à menor dose (4,54), em 7,7% (Gráfico 4D). As demais variáveis de trocas gasosas analisadas, condutância estomática (Gráficos 4E e 4F) e taxa de fotossíntese líquida (Gráficos 4G e 4H) não foram afetadas significativamente pelos tratamentos.

Esses achados corroboram estudos como o de Kubar *et al.* (2022), que relataram aumentos na taxa de transpiração e fotossíntese em trigo com doses elevadas de N, embora os efeitos sobre *g_s* e *C_i* possam ser condicionados à disponibilidade hídrica e ao estágio de desenvolvimento da planta. Em relação à luz, Chen *et al.* (2023) demonstraram que espectros com maior proporção de azul aumentam a densidade estomática e a condutância operacional, favorecendo a transpiração, mesmo sem impacto direto sobre a taxa de assimilação de CO₂.

Gráfico 4- Trocas gasosas diurnas (com LEDs desligados) de plantas de trigo BRS 264 aos 81 dias após emergência, submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2, LED 3) (A, C, E e G), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (B, D, F e H). *c_i* (A e B): concentração interna de CO₂ em $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{ar}$; E (C e D): taxa de transpiração em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$; *g_s* (E e F): condutância estomática em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$; A (G e H): taxa de fotossíntese líquida em $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Nota: p-valor da análise de variâncias (teste F) e letras pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Nas trocas gasosas avaliadas no período noturno, com os LEDs ligados, a concentração interna de CO₂ foi maior nas plantas do tratamento controle (527 μmol CO₂ mol⁻¹) que nas plantas com suplementação luminosa com PPFD de 386 μmol m² s⁻¹ (481) (Gráfico 5A). De modo semelhante plantas de trigo que receberam menos N tiveram maior Ci (520 μmol CO₂ mol⁻¹) que aquelas que receberam mais N (492) (Gráfico 5B).

A taxa de transpiração foi significativamente maior nas plantas submetidas ao PPFDs de 386 μmol m² s⁻¹ (2,05 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) que nas plantas controle (1,46) (Gráfico 5C). O aumento da transpiração foi de 40%. Os tratamentos com PPFDs de 121 e 215 μmol m² s⁻¹ apresentaram valores próximos (1,74 e 1,70 mmol H₂O m⁻² s⁻¹, respectivamente) e não diferiram dos demais tratamentos. As doses de N não afetaram significativamente esta variável (Gráfico 5D).

O comportamento da condutância estomática foi semelhante à transpiração. Plantas suplementadas com PPFD de 386 μmol m² s⁻¹ tiveram maior gs (0,14 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) que as plantas controle (0,10), sendo o incremento de 40% (Gráfico 5E). Nos tratamentos com PPFDs de 121 e 215 μmol m² s⁻¹ os valores foram intermediários não diferiram entre si nem dos demais tratamentos (Gráfico 5E). Assim como ocorreu com a variável transpiração a condutância estomática não foi afetada pelas doses de N estudadas (Gráfico 5F).

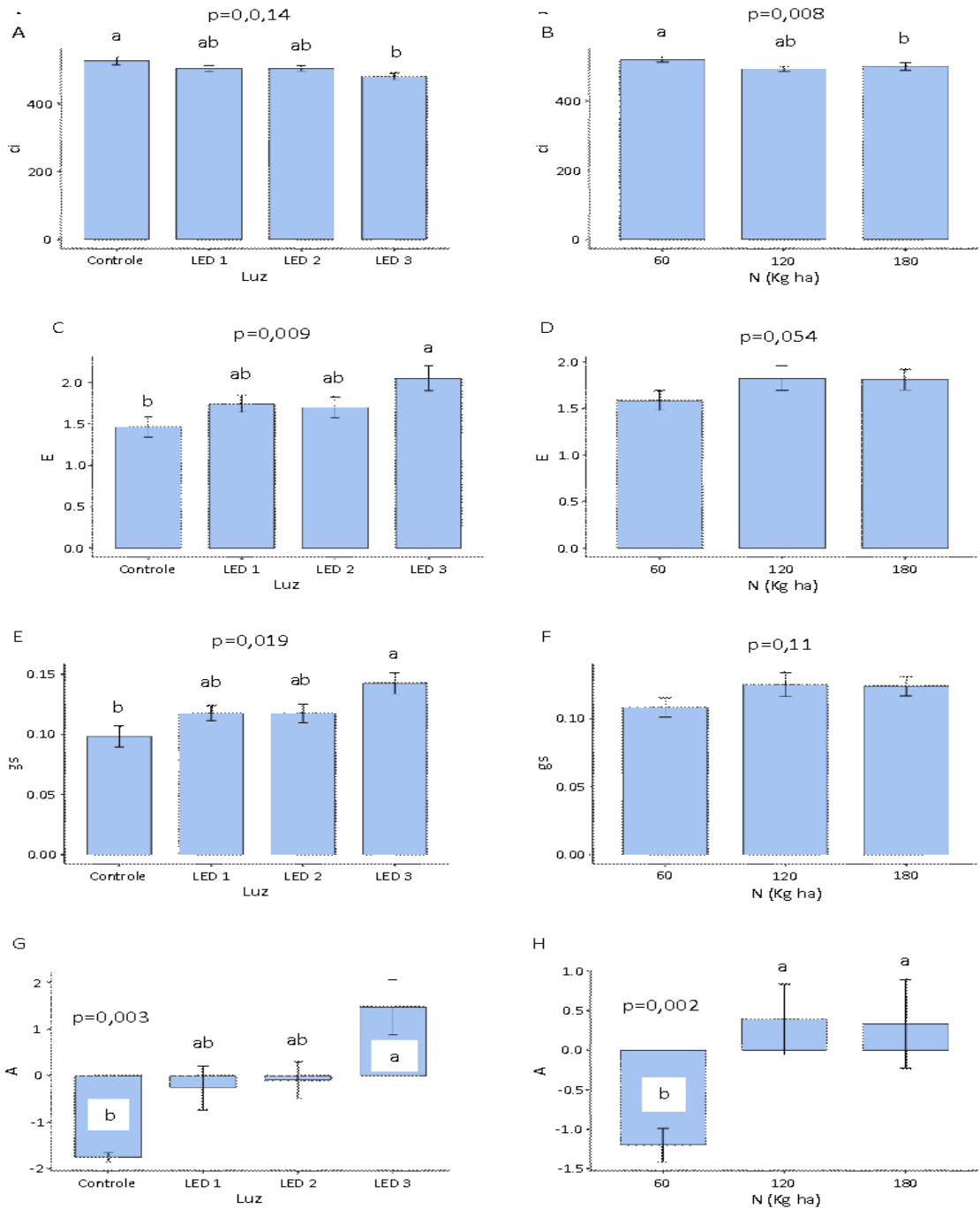
Apresentaram taxa de fotossíntese líquida positiva plantas submetidas ao PPFD de 386 μmol m² s⁻¹ (1,47 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) e significativamente maior que o tratamento controle (-1,75) (Gráfico 5G). Os tratamentos com PPFDs de 121 e 215 μmol m² s⁻¹ resultaram em taxas de fotossíntese líquidas negativas (-0,26 e -0,10 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, respectivamente) e as médias não diferiram estatisticamente das demais (Gráfico 5G). As maiores doses de N promoveram taxas de fotossíntese líquida positivas (0,33 e 0,39 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, respectivamente) e na menor dose teve-se uma A negativa (-1,20 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) (Gráfico 5H). Observa-se que a maior condutância estomática verificada no PPFD de 386 μmol m² s⁻¹ resultou em taxa líquida de fotossíntese positiva, porém a um custo de maior transpiração.

A maior abertura estomática e consequente da transpiração observados neste tratamento reforçam o papel da luz azul na regulação do funcionamento estomático durante o período de luz, segundo (Chen *et al.*, 2023), que relataram aumento na densidade estomática e na condutância sob luz azul. Além disso, a associação entre maior gs e valores positivos de A indica que a ativação parcial da fotossíntese pode compensar a respiração escura, mas com um custo hídrico associado.

O suprimento adequado de nitrogênio, por sua vez, potencializou os efeitos da luz ao promover melhor desempenho bioquímico, como já demonstrado por (Kubar *et al.*, 2022). Plantas com maior disponibilidade de N mantêm maior integridade da maquinaria fotossintética e maior acúmulo de pigmentos, o que permite resposta mais eficiente à luz suplementar, mesmo em horários fora do fotoperíodo tradicional.

Esses resultados reforçam observações de Li *et al.* (2022), que demonstraram que a combinação de espectros vermelho e azul pode ativar mecanismos fisiológicos em trigo mesmo sob intensidades moderadas e indicam o potencial de uso de luz noturna controlada como ferramenta para estender a atividade metabólica em sistemas protegidos de produção.

Gráfico 5- Trocas gasosas noturnas (com LEDs ligados) de plantas de trigo BRS 264 aos 87 dias após emergência, submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2 e LED 3) (A, C, E e G), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (B, D, F e H). Ci (A e B): concentração interna de CO_2 em $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{ar}$; E (C e D): taxa de transpiração em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$; gs (E e F): condutância estomática em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$; A (G e H): taxa de fotossíntese líquida em $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Nota: p-valor da análise de variâncias (teste F) e letras pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A assimilação de CO₂ é influenciada tanto pela intensidade quanto pela qualidade da luz. A maior taxa de assimilação de CO₂ foi observada por Monostori *et al.* (2018) em folha bandeira sob PPFD de 500 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ de luz vermelha, (13 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), valor inferior ao obtido neste estudo (15 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) com PPFD inferiores, 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$. Os autores relatam que a taxa de assimilação de CO₂ foi mais baixa sob luz azul, mas a condutância estomática foi alta, semelhante à luz vermelha com intensidade alta. E os menores valores de condutância estomática foram observados em plantas sob luz fluorescente branca (Monostori *et al.*, 2018).

Plantas de trigo tiveram baixa massa exclusivamente sob luz vermelha (Goins *et al.*, 1997) e sugerem que possa estar relacionado a menor taxa de assimilação de CO₂, (taxa de fotossíntese líquida mais baixa). A condutância estomática aumentou com o aumento dos níveis de luz azul, o que pode indicar que a diminuição dos valores de condutância estomática foi um fator que favoreceu a redução das taxas fotossintéticas sob LEDs vermelhos (Goins *et al.*, 1997).

A menor fotossíntese das plantas sob LEDs vermelhos pode estar relacionada a valores mais baixos de condutância estomática, uma vez que já foi evidenciado que os estômatos são mais controlados pela luz azul do que pela luz vermelha (Sharkey; Raschke, 1981; Matthews; Violet-Chabrand; Lawson, 2020). As taxas fotossintéticas não melhoraram com mais abertura estomática estimulada por LEDs vermelhos suplementados com luz azul (Yorio *et al.*, 2001).

4.4 A suplementação luminosa com LEDs e doses de N nos componentes de produção

A matriz de correlação de Pearson (Tabela 1) revelou associações significativas entre os principais componentes de produção do trigo BRS 264 aos 109 dias após a emergência. O número de espigas por vaso apresentou correlação positiva com o número de grãos por vaso ($r = 0,811$) e com a massa de grãos ($r = 0,719$) (Tabela 1). A relação de grãos por espiga correlacionou-se positivamente com o número de grãos ($r = 0,502$) e com a massa de grãos ($r = 0,406$). A massa de grãos apresentou correlação positiva com o peso hectolitro ($r = 0,381$) e com a massa de mil grãos ($r = 0,356$). E por último, a variável m1000 também se correlacionou positivamente com o PH ($r = 0,408$) (Tabela 1).

Tabela 1-Matriz de correlação com coeficientes de Pearson (R) e p-valor entre os componentes de produção de plantas de trigo BRS 264 na colheita aos 109 dias após emergência, submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2 e LED 3), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (60, 120 e 180 kg ha^{-1})

		espigas	grãos	grãos/espiga	massa	PH	m1000
espigas	r	-					
	p-valor	-					
grãos	r	0,811	-				
	p-valor	<0,001	-				
grãos/espiga	r	-0,094	0,502	-			
	p-valor	0,524	<0,001	-			
massa	r	0,719	0,868	0,406	-		
	p-valor	<0,001	<0,001	0,004	-		
PH	r	0,172	0,219	0,119	0,381	-	
	p-valor	0,242	0,136	0,419	0,008	-	
m1000	r	-0,091	-0,140	-0,121	0,356	0,408	-
	p-valor	0,537	0,344	0,413	0,013	0,004	-

Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

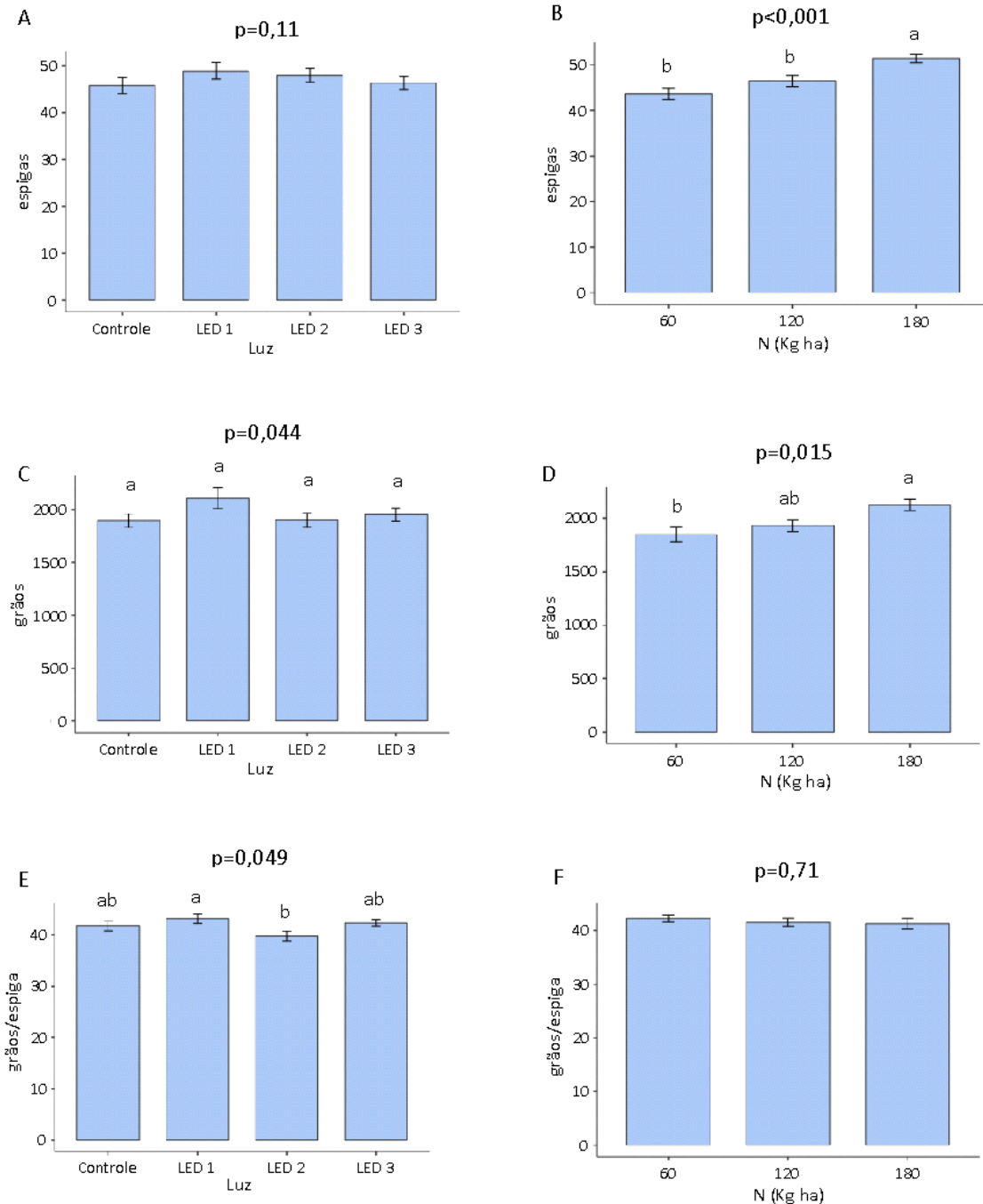
As plantas que receberam suplementação de luz com os LEDs estudados não apresentaram efeito significativo no número de espigas por vaso (Gráfico 6A). No entanto, a maior dose de N, 180 kg ha^{-1} , proporcionou aumento de espigas por vaso (51,5) comparado à dose intermediária (46,5) e a menor dose com 43,6 espigas por vaso (Gráfico 6B). O aumento desta variável foi de 18% na maior dose comparado à menor. Aumento do número de espigas e grãos por espiga foram observados por Luo *et al.* (2021) com doses de 180 e 270 kg ha^{-1} . A dose de 225 kg ha^{-1} em quatro parcelas (50, 10, 20 e 20%) proporcionou o maior número de espigas por plantas (Zhang *et al.*, 2017). As luzes vermelhas distante e vermelhas em alta intensidade foram superiores às branca fluorescente, rosa, azul e vermelha baixa intensidade quanto ao número de espigas por planta (Monostori *et al.*, 2018).

Para a variável número de grãos de trigo por vaso não houve diferença significativa quanto a suplementação luminosa (Gráfico 6C). Na maior dose de N houve aumento do número de grãos por vaso (2123,2) contra 1848,2 grãos vaso⁻¹ na menor dose (Gráfico 6D). A dose de 120 kg ha^{-1} de N apresentou média intermediária (1848,2) que não diferiu das outras duas médias (Gráfico 6D). Esses dados reforçam o papel do nitrogênio como elemento essencial para o crescimento reprodutivo e enchimento de grãos, confirmando resultados anteriores de Kubar

et al., (2022); Qin *et al.*, (2024), que destacam o efeito positivo do N sobre o número de grãos e o rendimento final em trigo.

Na variável número de grãos por espiga, o tratamento sob PPF_D de 121 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ (43,1 grãos espiga⁻¹) apresentou maior média que o tratamento com PPF_D de 386 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ (39,9) (Gráfico 6E). Os demais tratamentos não diferiram estatisticamente destes (Gráfico 6E). As doses de N tampouco tiveram efeito sobre a relação grãos por espiga no estudo (Gráfico 7F), sugerindo que a relação grãos/espiga é menos sensível à disponibilidade nutricional do que ao número total de espigas e grãos, como já relatado por Monostori *et al.*, 2018.

Gráfico 6- Número de espigas, número de grãos e relação grãos por espiga em plantas de trigo BRS 264 na colheita aos 109 dias após emergência, submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2 e LED 3) (A, C e E), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (B, D e F)



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Nota: p-valor da análise de variâncias (teste F) e letras pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

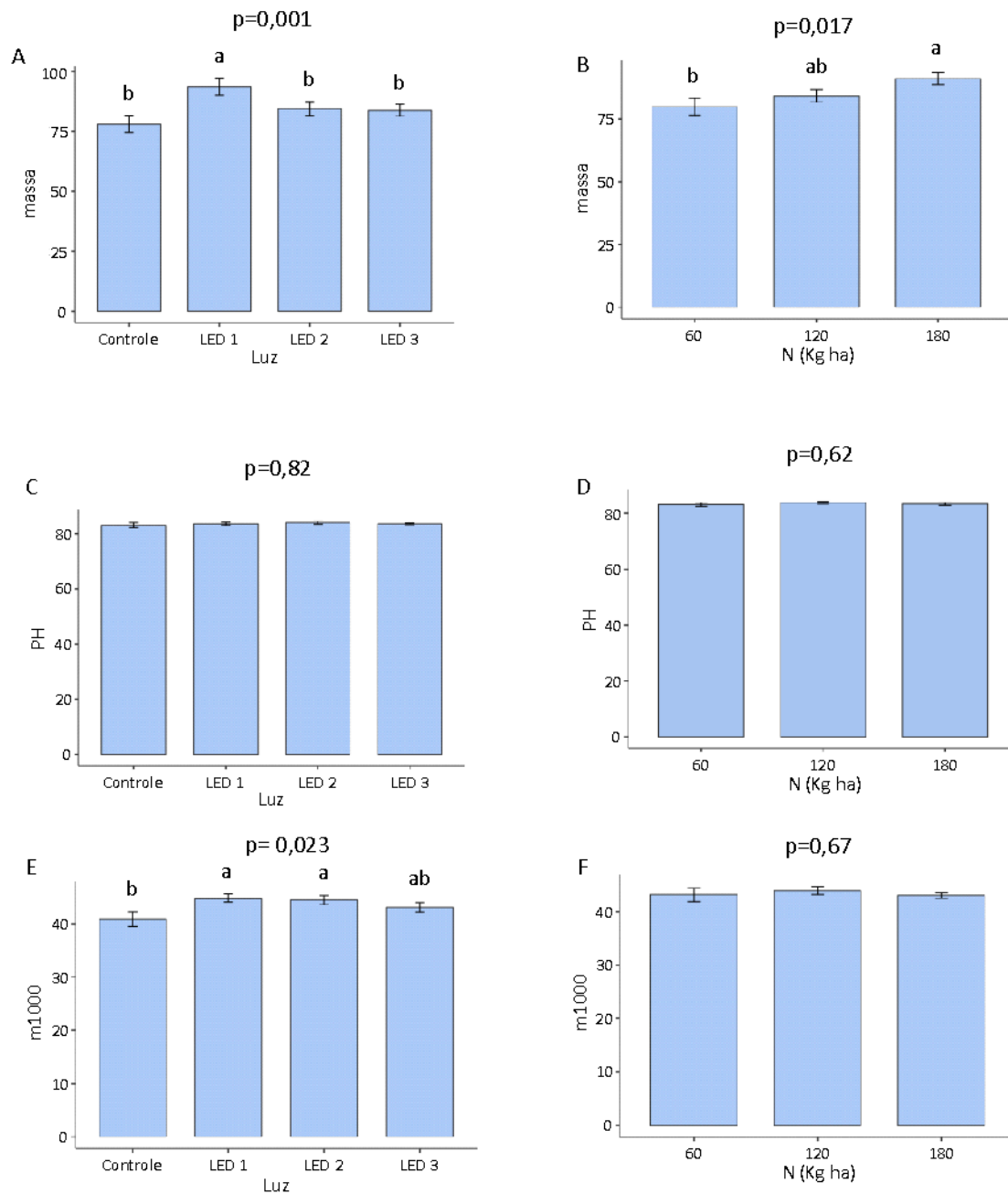
A massa de grãos por vaso foi maior no tratamento com PPFD de $121 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ que nos demais tratamentos (Gráfico 7A). Esse tratamento apresentou média de 93,7 g por vaso contra 78,1 no tratamento controle, ou seja, um aumento de 20%. Houve também efeito significativo das doses de N (Gráfico 7B). Na maior dose deste nutriente obteve-se $91,1 \text{ g vaso}^{-1}$ e na menor 79,8, um incremento de 14%. A média da dose intermediária não diferiu das demais (Gráfico 7B). Entre as doses de 180, 225 e 270 kg há^{-1} N, a dose de 225 em quatro parcelas (50, 10, 20 e 20%) proporcionou as melhores produções de trigo em duas safras (Zhang *et al.*, 2017). São doses mais altas que as estudadas nesta pesquisa que adotaram duas parcelas.

Esses dados corroboram com os resultados obtidos por Kubar *et al.* (2022), que verificaram maior acúmulo de biomassa reprodutiva em trigo sob doses elevadas de N, associadas ao aumento da taxa fotossintética e da atividade de enzimas antioxidantes. De forma semelhante, Zhang *et al.* (2017) também relataram que a aplicação fracionada de 225 kg há^{-1} de N proporcionou os maiores rendimentos de grãos, reforçando que o manejo eficiente da adubação é decisivo para o acúmulo de matéria seca nos grãos.

A variável peso do hectolitro, uma medida de qualidade do trigo, não foi influenciada pelos tratamentos, seja pelo efeito da suplementação luminosa (Gráfico 7C) seja pelas doses de N (Gráfico 7D). As maiores massas de 1000 grãos foram observadas os tratamentos sob PPFDs de $121 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ($44,9 \text{ g } 1000 \text{ grãos}^{-1}$) e $215 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ($44,5$) (Gráfico 7E). Para doses de N não houve efeito sobre a variável massa de 1000 grãos (Gráfico 7F).

Por outro lado, as diferentes doses de nitrogênio não influenciaram significativamente a massa de 1000 grãos (Gráfico 7F), o que sugere que, dentro da faixa estudada (60 a 180 kg há^{-1}), o nitrogênio foi suficiente para manter o suprimento de nutrientes ao longo do enchimento dos grãos, sem efeitos adicionais sobre o peso individual. Esse padrão foi também reportado por Qin *et al.* (2024), que observaram que o peso de 1000 grãos tende a estabilizar acima de determinados níveis de N, com a resposta sendo mais expressiva no número de grãos do que na massa individual.

Gráfico 7- Massa de grãos, peso do hectolitro (PH) e massa de 1000 grãos (m1000) em plantas de trigo BRS 264 na colheita aos 109 dias após emergência, submetidas à suplementação luminosa com três tipos de LEDs (LED 1, LED 2 e LED 3) (A, C e E), com PPFD médio de 121, 215 e 386 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, e três doses de nitrogênio (B, D e F)



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Nessa pesquisa não se avaliou a qualidade do trigo produzido além do peso hectolitro. Mas mudanças no crescimento e metabolismo das plantas de trigo sob LEDs apresentaram

alteração na qualidade da farinha (Monostori *et al.*, 2018). A maioria dos regimes luminosos estudados por esses autores indicaram melhor qualidade da farinha pela alteração dos conteúdos de amido e proteína.

No entanto, é visto uma divergência entre os parâmetros fisiológicos e produtivos, a qual pode ser discutida com base em estudos. Foi observada que na maior intensidade luminosa, com PPFD de $386 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, embora tenha promovido os maiores valores de fotossíntese líquida, condutância estomática e transpiração noturnas, não resultou nos melhores componentes de produção. Os melhores resultados produtivos, foram obtidos com o LED de menor intensidade com PPFD de $121 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, que proporcionou o maior número de grãos por espiga, maior massa de grãos e massa de mil grãos.

Essa divergência entre o desempenho fisiológico e produtivo pode estar relacionada a um maior estímulo luminoso no período noturno, que, embora tenha intensificado a atividade fotossintética, pode ter desencadeado efeitos metabólicos que comprometeram a alocação eficiente dos assimilados para estruturas reprodutivas. Segundo Monostori *et al.* (2018), luz vermelha em alta intensidade pode promover o acúmulo de aminoácidos e alterar o metabolismo secundário, o que pode interferir negativamente na partição de assimilados para os grãos.

Além disso, Li *et al.* (2022) destacam que a luz vermelha favorece o crescimento aéreo, enquanto a azul estimula raízes e defesa, sendo que a combinação dessas luzes pode resultar em equilíbrio fisiológico, especialmente sob intensidades moderadas. Wollaeger e Runkle (2015) observaram que a combinação de luzes LED azul e branca prejudicou o crescimento do trigo, atribuída a elevada proporção de luz azul no espectro. Com base nesses achados e em outras evidências fisiológicas, pode-se inferir que luzes com intensidade ou espectro desbalanceado podem desencadear respostas de estresse ou redirecionamento metabólico, o que compromete a partição eficiente de assimilados para os órgãos reprodutivos.

Nesse contexto, o PPFD de $121 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, portanto, pode ter proporcionado um ambiente mais equilibrado para o desenvolvimento das plantas, favorecendo a partição de assimilados para os grãos. De acordo com Goins *et al.* (1997), observou-se aumento na formação de grãos em trigo sob LED vermelho suplementado com azul. Assim, ainda que as variáveis fisiológicas tenham respondido positivamente à maior intensidade luminosa, os ganhos produtivos foram mais expressivos com intensidade moderada, possivelmente por minimizar estresses e favorecer a alocação de carbono para estruturas reprodutivas.

5 CONCLUSÕES

A suplementação luminosa com LED de intensidade moderada ($121 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) foi a que mais favoreceu componentes produtivos como massa de grãos por vaso e massa de 1000 grãos, enquanto a intensidade mais alta ($386 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) promoveu ganhos fisiológicos, como fotossíntese líquida noturna positiva, condutância estomática e maior taxa de transpiração.

A maior dose de N, equivalente a 180 kg ha^{-1} , aplicada em duas parcelas iguais aos 26 e 57 dias após a emergência, aumentou o número de espigas, o número de grãos e a massa de grãos do trigo. Também na maior dose de N, houve aumento da proporção de plantas de trigo com colônias do afídeo *R. padi*.

As trocas gasosas diurnas não foram significativamente impactadas pelos tratamentos, o que pode ser atribuído à elevada irradiância natural do ambiente. Em contraste, à noite, o LED de maior intensidade foi capaz de manter os estômatos parcialmente abertos e induzir fotossíntese líquida positiva.

As variáveis de trocas gasosas medidas à noite, transpiração, condutância estomáticas e taxa de fotossíntese líquida foram maiores com LED vermelho e azul na maior densidade de fluxo fotônico fotossintetizante (PPFD) de $386 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ e taxas positivas de fotossíntese líquida foram observadas nas plantas que receberam as duas maiores doses de N, 120 e 180 kg ha^{-1} .

As variáveis altura, diâmetro de caule, índice de clorofila Falker e concentração interna de CO_2 , condutância estomática e taxa de fotossíntese líquida medidas durante o dia não foram afetadas pela suplementação luminosa ou dose de N.

Os dados indicam que a interação entre luz suplementar e nitrogênio pode ser estrategicamente manejada para otimizar tanto processos fisiológicos como produtivos do trigo em sistemas de cultivo protegido.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, S. W.; NIAZ, U. Effect of aphid species infestation on wheat crop, *Triticum aestivum* L. and its yield. **Journal of agricultural science and botany**, Ponta Grossa, PR, v. 3, n. 2, p. 6-9, 2019. Disponível em: <https://www.alliedacademies.org/articles/effect-of-aphid-species-infestation-on-wheat-crop-triticum-aestivum-l-and-its-yield.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2023.
- ALBERTO, C. M. **Modelagem do desenvolvimento e do balanço de água no solo em trigo**. 2008. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia de água e solo) - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3566>. Acesso em: 13 nov. 2023.
- ALBRECHT, J. C. *et al.* **Trigo BRS 264**: cultivar precoce com alto rendimento de grãos indicada para o Cerrado do Brasil Central. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/570289/trigo-brs-264-cultivar-precoce-com-alto-rendimento-de-graos-indicada-para-o-cerrado-do-brasil-central>. Acesso em: 13 nov. 2023.
- ALBRECHT, J. C. *et al.* **Cultivar Trigo BRS 264**: precocidade, qualidade industrial e altos rendimentos para o cerrado do Brasil Central. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. Circular Técnica 49, fev. 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1133610/1/Cultivar-trigo-BRS-264-Circular-tecnica-49.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- ALVARADO, A. C. G. **Micropropagação de *Melaleuca alternifolia***: efeitos de 6-Benzylaminopurine e do comprimento de onda fornecidos por diodos emissores de luz. 73 f. Monografia (Especialização) - Curso de Produção Vegetal e Bioprocessos, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/server/api/core/bitstreams/9ee75107-4bff-4860-b28d-3c4d70526291/content>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- ANDERSON, W. K; GARLINGE, J. R. The Wheat book: principles and ractice. **DPIRD Digital Library**, Western, Australia, n. 4443, p. 322, 2000. Disponível em: <https://library.dpird.wa.gov.au/bulletins/6/>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- AQUEEL, M. A.; LEATHER, S. R. The effect of nitrogen fertiliser on populations of cereal aphids (*Sitobion avenae* and *Rhopalosiphum padi*) on winter wheat. **Crop Protection**, São Paulo, v. 30, n. 6, p. 748–753, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219410002930>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- ASSENG, S.; GUARIN, J.R.; RAMAN, M.; MONJE, O.; KISS, G.; DESPOMMIER, D.D.; MEGGERS, F.M.; GAUTHIER, P.P.G. Wheat yield potential in controlled-environment vertical farms. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, USA, v. 117, p. 19131–19135, 2020. DOI:10.1073/pnas.2002655117. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2002655117>. Acesso em: 15 jul. 2025.

BARBOSA, J. G.; MUNIZ, M. A.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, M. S. Crisântemo. *In*: PAIVA, P. D.O.; ALMEIDA, E. F. A. **Produção de flores de Corte**: volume 1. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 244 p.

BARROS, R.; DEGRANDE, P. E.; FERNANDES, M. G.; NOGUEIRA, R. F. Efeitos da adubação nitrogenada em algodoeiro sobre a biologia de *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, [S.l.], v. 36, p. 752–758, 2007. DOI: 10.1590/s1519-566x2007000500017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ne/a/QGWzNTRF34rc9fn9GWxHSMH/>. Acesso em: 15 jul. 2025.

BATISTA, F. P. S.; RIBEIRO JÚNIOR, W.Q., VILELA, L.; RAMOS, M. L. G., VIVALDI, L. J. O cultivo de trigo de duplo propósito e os efeitos da adubação nitrogenada no valor nutritivo de sua forragem. *In*: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 49, 2012, Brasília. **Anais [...]**. Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2012. p. 1-3. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/930639>. Acesso em: 15 jul. 2025.

BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 180214, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/sdata2018214>. Acesso em: 15 jul. 2025.

BERLATTO, Gustavo Humeniuk; BARBOZA, Marcos Roberto. **Monitoramento populacional de afídeos na cultura do trigo, em Laranjeiras do Sul-PR, Safra 2022**. 2023. 13 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônômica, Faculdade Campo Real, Guarapuava, PR, 2023. Disponível em: <https://repositorio.camporeal.edu.br/index.php/engagro/article/view/190>. Acesso em: 15 jul. 2025.

GIROLDO, P. Z. Efeito da época de queima em um campo sujo de cerrado. 2016. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-06122016155041/publico/Dissertacao_PaulaGiroldo.pdf. Acesso em: 05 out. 2020.

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

BRAGA, M. F. Revisão: Crescimento de plantas C3 e C4 em resposta a diferentes concentrações de CO₂ **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, SP, n. 10: p. e33810716701, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/51919>. Acesso em: 05 out. 2020.

CARVALHO, H. M. B. Diodos Emissores de Luz de Alto Brilho e Alta Potência. **Directlight**, [S.l.], v. 05, mar. 2007.

CARVALHO, S. D.; FOLTA, K. M. Sequential light programs shape kale (*Brassica napus*) sprout appearance and alter metabolic and nutrient content. **Horticulture Research**, Cairo, Gizeh, v. 8, p.1-13, 2014.

CASTRO, P. R. C.; KLUGUE, R. A.; SESTARI. **Manual de fisiologia vegetal**: fisiologia de cultivos. Ouro Fino: Agrônômica Ceres Ltda, 2008. p. 864.

CHEN, C. *et al.* Response of *Eustoma* Leaf Phenotype and Photosynthetic Characteristics to Blue and Red Light Quality and Intensity. **Agriculture**, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 119, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13010119>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/1/119>. Acesso em: 13 nov. 2023.

CISNEROS, J. J.; GODFREY, L. D. Midseason pest status of the cotton aphid (Homoptera: *Aphididae*) in California cotton: Is nitrogen a key factor? **Environmental Entomology**, Oxford, v. 30, p. 501–510, 2001. DOI: 10.1603/0046-225X-30.3.501. Disponível em: <https://academic.oup.com/ee/article/30/3/501/477264>. Acesso em: 13 nov. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Tabela de dados**: produção e balanço de oferta e demanda de grãos. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 13 de nov. 2023.

CURTIS, B. C.; RAJARAM, S.; GÓMEZ MACPHERSON, H. **Bread wheat**: improvement and production. Rome: FAO, 2002. Disponível em: <https://www.fao.org/plant-production-protection/en>. Acesso em: 11 jun. 2025.

ELAZAB, A.; ORDÓÑEZ, R. A.; SAVIN, R.; SLAFER, G. A.; ARAUS, J. L. Detecting interactive effects of N fertilization and heat stress on maize productivity by remote sensing techniques. **European Journal of Agronomy**, [S.l.], v. 73, p. 11–24, 2016.

FAÇANHA, D. C.; SILVA, E. J.; SANTOS, C. A.; PEREIRA, M. C. N.; LOPES, R., QUISEN, R. C. Efeitos de diferentes tipos de luz na micropropagação de brotações de bananeira cultivar Pacovan. *In*: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 15, 2018. **Anais** [...]. Manaus: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1117320/efeitos-de-diferentes-tipos-de-luz-na-micropropagacao-de-brotacoes-de-bananeira-cultivar-pacovan>. Acesso em: 13 nov. 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (Rome). **Cereal supply and demand brief**. Rome: FAO, 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

FEEKES, W. The phenological development of the cereal plant. *In*: **VERSLAGEN de Technisch tarwe commissie**: v. 17. Ithaca: Drukkerij Begroeders Hoitsema, 1941. p. 1-22. 1941. Disponível em: https://books.google.com.br/books/about/Verslagen_van_den_Technische_tarwe_commi.html?id=MudIAAAAYAAJ&redir_esc=y. Acesso em: 11 jun. 2025

FOLTA, K. M. Green light stimulates early stem elongation, antagonizing light-mediated growth inhibition. **Plant Physiology**, Oxford, v. 135, p. 1407–1416, 2004. DOI: 10.1104/pp.104.038893. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15247396/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

FOLTA, K.M.; CHILDERS, K.S. Light as a growth regulator: Controlling plant biology with narrow-bandwidth solid-state lighting systems. **HortScience**, Alexandria, v. 43, p. 1957–1964, 2008. DOI: 10.21273/hortsci.43.7.1957. Disponível em: <https://journals.ashs.org/view/journals/hortsci/43/7/article-p1957.xml>. Acesso em: 11 jun. 2025.

FRANKLIN, K. A.; WHITELAM, G. C. Light-quality regulation of freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **Nature Genetics**, [S.l.], v. 39, n. 11, p. 1410–1413, 2007.

GABRIEL, J. L.; ZARCO-TEJADA, Pablo J.; HERRERA, Juan López de; QUEMADA, M. Airborne and ground level sensors for monitoring nitrogen status in a maize crop. **Biosystems Engineering**, [S.l.], v. 160, p. 124–133, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317740043_Airborne_and_ground_level_sensors_for_monitoring_nitrogen_status_in_a_maize_crop. Acesso em: 11 jun. 2025.

GALMÉS, J., CARMEN, H. C., LAURI, L; ÜLO N. A compendium of temperature responses of Rubisco kinetic traits: variability among and within photosynthetic groups and impacts on photosynthesis modeling. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 67, n. 17, 2016, p. 5067–5091.

GALLO, D. *et al.* **Entomologia Agrícola**. 10. ed. Piracicaba: FEALQ, 2002.

GANDIN, A.; KOTEYEVA, N. K.; VOZNESENSKAYA, E. V.; EDWARDS, G. E.; COUSINS, A. B. Temperature response of C3–C4 intermediates. **Plant Cell and Environment**, [S.l.], v. 37, p. 2601–2612, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/13653040>. Acesso em: 11 jun. 2025.

GASH, A. F. J. Wheat nitrogen fertilisation effects on the performance of the cereal aphid *Metopolophium dirhodum*. **Agronomy**, Basileia, Suíça, v. 2, p. 1–13, 2012. DOI: 10.3390/agronomy2010001. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/2/1/1>. Acesso em: 11 jun. 2025.

GOINS, G. D.; YORIO, N. C.; SANWO, M.M.; BROWN, C.S. Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 48, p.1407–1413, 1997. DOI: 10.1093/jxb/48.7.1407. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article-abstract/48/7/1407/521751>. Acesso em: 11 jun. 2025.

GUAN, C.; ZHANG, D.; CHU, C. Interplay of light and nitrogen for plant growth and development. **The Crop Journal**, [S.l.], v. 13, n. 3, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214514125000194>. Acesso em: 11 jun. 2025.

HAN, T.; ASTAFUROVA, T.; TURANOV, S.; BURENINA, A.; BUTENKOVA, A.; SURNINA, E.; VALIEV, D. Photomorphogenesis of wheat sprouts with LED irradiation of different intensities. **Lighting Research and Technology**, [S.l.], v. 52, p. 583–594, 2020. DOI: 10.1177/1477153519894716. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1477153519894716>. Acesso em: 11 jun. 2025.

HAWKESFORD, M. *et al.* Functions of macronutrients. In: MARCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Netherlands: Academic Press Amsterdam, 2012. p. 135–189.

INAGAKI, N.; KINOSHITA, K.; KAGAWA, T.; TANAKA, A.; UENO, O.; SHIMADA, H.; TAKANO, M. Phytochrome B mediates the regulation of chlorophyll biosynthesis through transcriptional regulation of ChlH and GUN4 in rice seedlings. **PLoS ONE**, São Francisco, Califórnia, v. 10, p. 1–22, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0135408. Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0135408>. Acesso em: 11 jun. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Organizador José Eduardo B. A Monteiro. Brasília, DF: INMET, 2009.

JAMOVI. **The jamovi project**. Jamovi. (version 2.3) (Computer software). 2022. Disponível em: <https://www.jamovi.org>. Acesso em: jul. 2023.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A. 2008.

KUBAR, K. A. *et al.* Influence of Nitrogen Levels on Gas Exchange Attributes and Antioxidant Defense Mechanisms in Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, Suíça, v. 13, p. 1011515, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1011515>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.1011515/full>. Acesso em: 10 jul. 2023.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2004.

LARGE, E. C. Growth stages in cereal: Illustration of the Feekes scale. **Plant Pathology**, New York, v. 3, p. 129, 1954.

LAZZARIN, M. *et al.* LEDs make it resilient: effects on plant growth and defense. **Trends in Plant Science**, [S.l.], v. 25, n. 5, p. 404–417, 2020. Disponível em: <https://edepot.wur.nl/539122>. Acesso em: 14 jun. 2025.

LI, W. QIAN; HAN, M. MING; PANG, D. WEI; CHEN, J.; WANG, Y. YUAN; DONG, H. HE; CHANG, Y. LAN; JIN, M.; LUO, Y. LI; LI, Y.; WANG, Z. LIN. Characteristics of lodging resistance of high-yield winter wheat as affected by nitrogen rate and irrigation managements. **Journal of Integrative Agriculture**, [S.l.], v. 21, p. 1290–1309, 2022. DOI: 10.1016/S2095-3119(20)63566-3. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311920635663>. Acesso em: 10 jul. 2023.

LIANG, Y.; COSSANI, C.M.; SADRAS, V.O.; YANG, Q.; WANG, Z.; WANG, Z. The Interaction Between Nitrogen Supply and Light Quality Modulates Plant Growth and Resource Allocation. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, Suíça, v.13, p. 1-14, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.864090. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.864090/full>. Acesso em: 10 jul. 2023.

LIU, Y. *et al.* Optimum water and nitrogen management increases grain yield and resource use efficiency by optimizing canopy structure in wheat. **Journal of Integrative Agriculture**, [S.l.], v. 21, n. 5, p. 1290–1304, 2022.

LUO, C.; GUO, Z.; XIAO, J.; DONG, K.; DONG, Y. Effects of Applied Ratio of Nitrogen on the Light Environment in the Canopy and Growth, Development and Yield of Wheat When Intercropped. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, Suíça, v. 12, p. 1-12, 2021. DOI:

10.3389/fpls.2021.719850. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.719850/full>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MARSCHNER, H.; KIRKBY, E. A.; CAKMAK, I. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 47, p. 1255–1263, 1996. DOI: 10.1093/jxb/47.Edição_Especial.1255. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21245257/>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. New York: Academic Press, 2012.

MARTINS, L. E. C. **Absorção e assimilação da ureia por plantas de metabolismo fotossintético C3 e C4**. 2015. 34 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/7bad2ebb-089e-4989-9d97-a8d552376fe2/content>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MASSA, G. D.; KIM, H. H.; WHEELER, R. M.; MITCHELL, C. A. Plant productivity in response to LED lighting. **Hortscience**, Alexandria, USA, v. 43, n. 7, p. 1951–1956, 2008. Disponível em: <https://www.col-center.ca/wp-content/uploads/2012/08/plant-productivity-in-response-to-LED-lighting.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MATTHEWS, J. S. A.; VIALET-CHABRAND, S.; LAWSON, T. Role of blue and red light in stomatal dynamic behaviour. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 71, p. 2253–2269, 2020. DOI: 10.1093/jxb/erz563. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/71/7/2253/5686167>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MONOSTORI, I.; HEILMANN, M.; KOCSY, G.; RAKSZEGI, M.; AHRES, M.; ALTENBACH, S.B.; SZALAI, G.; PÁL, M.; TOLDI, D.; SIMON-SARKADI, L.; HARNOS, N.; GALIBA, G.; DARKO, É. LED lighting – modification of growth, metabolism, yield and flour composition in wheat by spectral quality and intensity. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, Suíça, v. 9, p. 1–16, 2018. DOI: 10.3389/fpls.2018.00605. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2018.00605/full>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MUMBACH, G. L.; KOTOWSKI, F. J. A.; SCHNEIDER, M. S.; MALLMANN, É. B.; BONFADA, V. O.; PORTELA, É. B. & BONFADA, D. R. K. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 97-103, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/51475>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MUNEER, S. *et al.* Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.). **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 15, n. 3, p. 4657-4670, 2014. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/15/3/4657>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MURAD, A. M. *et al.* Effects of LED light spectra on plant growth and metabolism. **Planta Daninha**, [S.l.], v. 39, e020216030, 2021.

MURAD, M. AL; RAZI, K.; JEONG, B. R.; SAMY, P. M. A.; MUNEER, S. Light emitting diodes (LEDs) as agricultural lighting: Impact and its potential on improving physiology, flowering, and secondary metabolites of crops. **Sustainability**, [S.l.], v. 13, p. 1–25, 2021. DOI: 10.3390/su13041985. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/1985>. Acesso em 10 jul. 2023.

NANCARROW, N.; AFTAB, M.; HOLLAWAY, G.; RODONI, B.; TREBICKIYIELD, P. Losses caused by barley yellow dwarf virus-pav infection in wheat and barley: a three-year field study in south-eastern australia. **Microorganisms**, Basel, Suíça, v. 9, n. 3, p. 1-14, 2021.

PARKS, B. M.; FOLTA, K. M.; SPALDING, E. P. Photocontrol of stem growth. **Current Opinion in Plant Biology**, [S.l.], v. 4, p. 436-440, 2001. DOI: 10.1016/S1369-5266(00)00197-7. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369526600001977?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jul. 2023.

PONDER, K. L.; PRITCHARD, J.; HARRINGTON, R.; BALE, J. S. Difficulties in location and acceptance of phloem sap combined with reduced concentration of phloem amino acids explain lowered performance of the aphid *Rhopalosiphum padi* on nitrogen deficient barley (*Hordeum vulgare*) seedlings. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, [S.l.], v. 97, p. 203–210, 2000. DOI: 10.1046/j.1570-7458.2000.00731.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1570-7458.2000.00731.x>. Acesso em: 10 jul. 2023.

QIN, J. *et al.* The effects of irrigation and nitrogen application on the water and nitrogen utilization characteristics of drip-irrigated winter wheat in the North China Plain. **Agronomy**, Basel, Suíça, v. 14, n. 11, p. 2629, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/11/2629>. Acesso em: 10 jul. 2023.

RASMUSSEN, Allan G.; ESCOBAR, Matthew A. Light and diurnal regulation of plant respiratory gene expression. **Physiologia Plantarum**, [S. l.], v. 129, n. 1, p. 57–67, 2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1399-3054.2006.00797.x>. Acesso em: 10 jul. 2023.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Versão 3.5.3. 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SADRAS, V.; VÁZQUEZ, C.; GARZO, E.; MORENO, A.; MEDINA, S.; TAYLOR, J.; FERERES, A. The role of plant labile carbohydrates and nitrogen on wheat-aphid relations. **Scientific Reports**, Londres, v. 11, p. 1-13, 2021. DOI: 10.1038/s41598-021-91424-8. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-91424-8>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SALVADOR, F. R. D; SCARASCIA MUGNOZZA, G.; VOX, G.; SCHETTINI, E.; MASTRORILLI, M.; BOU JAOUDE, M. Innovative photoselective and photoluminescent plastic films for protected cultivation. **Acta Horticulturae**, [S.l.], v. 801, n. 1, p. 115–121, 2008. DOI: 10.17660/actahortic.2008.801.7. Disponível em: https://www.actahort.org/books/801/801_7.htm. Acesso em: 10 jul. 2023.

SALVADORI, José R. *et al.* Controle biológico de pragas do trigo. *In:* PINTO A. S. (org.) *et al.* **Controle Biológico de Pragas na Prática**. Piracicaba: CP 2, 2006.

SCHEEREN, P. L. *et al.* Melhoramento de trigo no Brasil. *In:* PIRES, J. L. F.; VARGAS, L. CUNHA, G. R. da. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011. cap. 17, p. 427-452.

SCHEEREN, P. L.; DE CASTRO, R. L.; CAIERAO, E. **Botânica, morfologia e descrição fenotípica**. Brasília, DF: Embrapa Trigo, 2015.

SENA, G. F. *et al.* Uso de LEDs na suplementação luminosa de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, [S.l.], v. 42, n. 1, p. 15–22, 2024.

SHARKEY, T. D.; RASCHKE, K. Effect of Light Quality on Stomatal Opening in Leaves of *Xanthium strumarium* L. **Plant Physiology**, Oxford, v. 68, p. 1170-1174, 1981. DOI: 10.1104/pp.68.5.1170. Disponível em: <https://academic.oup.com/plphys/article/68/5/1170/6076686>. Acesso em: 11 jun. 2025.

STEIGER, S.; SCHÄFER, L.; SANDMANN, G. High-light-dependent upregulation of carotenoids and their antioxidative properties in the *Cyanobacterium Synechocystis* PCC 6803. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, [S.l.], v. 52, p. 14–18, 1999. DOI: 10.1016/S1011-1344(99)00094-9. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1011134499000949>. Acesso em: 11 jun. 2025.

SUN, J.; NISHIO, J. N.; VOGELMANN, T. C. Green light drives CO₂ fixation deep within leaves. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 39, n. 10, p.1020-1026, 1998. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/31345848_Green_Light_Drives_CO2_Fixation_Deep_within_Leaves. Acesso em: 11 jun. 2025.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TAIZ, L.E. ZEIGER, E. MOLLER, I.M. MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEIXEIRA-FILHO, M. C. M. *et al.* Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, p. 797-804, 2010.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.108, p. 20260–20264, 2011. DOI: 10.1073/pnas.1116437108. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1116437108>. Acesso em: 11 jun. 2025.

TOVAR-MENDEZ, A.; MIERNYK, J. A.; RANDALL, Douglas D. Regulation of pyruvate dehydrogenase complex activity in plant cells. **European Journal of Biochemistry**, [S. l.], v. 270, n. 6, p. 1043–1049, 2003.

TRIPATHY, B. C.; BROWN, C. S. Root-Shoot Interaction in the Greening of Wheat Seedlings Grown under Red Light. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 107, p. 407-411, 1995. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC157141/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (Washington). **Wheat: production, supply and distribution**. 2024. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/commodities/wheat>. Acesso em: 11 jun. 2025.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília, DF: Embrapa Meio Ambiente, 2017.

VINCE-PRUE, D. **Photoperiodism in Plants**. London: McGraw-Hill, 1975.

WHITELAM, G. C.; HALLIDAY, K. J. **Light and Plant Development**. Oxford: Blackwell, 2007.

WOLLAEGER, H. M.; RUNKLE, E. S. Growth and acclimation of impatiens, salvia, petunia, and tomato seedlings to blue and red light. **HortScience**, Alexandria, USA, v. 50, p. 522–529, 2015. DOI: 10.21273/hortsci.50.4.522. Disponível em: <https://journals.ashs.org/view/journals/hortsci/50/4/hortsci.50.issue-4.xml>. Acesso em: 15 jun. 2025.

WU, Y.; GONG, W.; YANG, W. Shade Inhibits Leaf Size by Controlling Cell Proliferation and Enlargement in Soybean. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 7, p. 1–10, 2017. DOI: 10.1038/s41598-017-10026-5. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-10026-5>. Acesso em: 11 jun. 2025.

YANG, E.; LEE, J.; LEE, Y. Phototactic behavior 6: behavioral responses of *Myzus persicae* (Hemiptera: *Aphididae*) to light-emitting diodes. **Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry**, Korea, v. 58, n. 1, p. 119–123, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13765-015-0010-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13765-015-0010-5>. Acesso em: 15 jun. 2025.

YANG, F.; LIAO, D.; WU, X.; GAO, R.; FAN, Y.; RAZA, M.A.; WANG, X.; YONG, T.; LIU, W.; LIU, J.; DU, J.; SHU, K.; YANG, W. Effect of aboveground and belowground interactions on the intercrop yields in maize-soybean relay intercropping systems. **Field Crops Research**, Lelystad, v. 203, p. 16–23, 2017. DOI: 10.1016/j.fcr.2016.12.007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429016306736>. Acesso em: 11 jun. 2025.

YORIO, N. C.; GOINS, G. D.; KAGIE, H. R.; WHEELER, R. M.; SAGER, J. C. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. **HortScience**, Alexandria, USA, v. 36, p. 380–383, 2001. DOI: 10.21273/hortsci.36.2.380. Disponível em: <https://journals.ashs.org/view/journals/hortsci/36/2/article-p380.xml>. Acesso em: 15 jun. 2025.

ZANATTA, M. M. **Diodos emissores de luz (LED) e AIB na micropropagação de cana-de-açúcar RB855156**. 2021. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

ZHANG, M.; WANG, H.; YI, Y.; DING, J.; ZHU, M.; LI, C.; GUO, W.; FENG, C.; ZHU, X. Effect of nitrogen levels and nitrogen ratios on lodging resistance and yield potential of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **PLOS ONE**, São Francisco, v. 12, p. 1-17, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0187543. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0187543>. Acesso em: 15 jun. 2025.

ZHANG, Y. *et al.* Effects of nitrogen application method on the yield and nitrogen use efficiency of winter wheat. **The Crop Journal**, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 152–162, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.10.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214514116301210?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jul. 2023.

ZHANG, X.; TANG, M.; WANG, H.; TAO, W.; WANG, Q.; CHEN, L.; GAO, G.; LV, R.; LIANG, T. Analysis of Photosynthetic Differences of Rice Germplasm in Southeast Asia Based on Leaf-Tissue Structure, Physiology, and iTRAQ. **Agronomy**, Basel, Suíça, v. 12, n. 12, p. 3207, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12123207>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/12/3207>. Acesso em: 15 jun. 2025.

ZHENG, Liang; HE, Huaming; SONG, Weitang. Aplicação de diodos emissores de luz e o efeito da qualidade da luz em culturas hortícolas: uma revisão. **HortScience**, Alexandria, v. 54, n. 10, p. 1656-1661, 2019. Disponível em: <https://journals.ashs.org/view/journals/hortsci/54/10/article-p1656.xml>. Acesso em: 10 jul. 2023.