

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**Suplementação de luz do tipo LED em plantas de girassol ornamental  
(*Helianthus annuus*) cultivadas em vaso**

Fernando Batista dos Santos Filho  
*Magister Scientiae*

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**FERNANDO BATISTA DOS SANTOS FILHO**

**Suplementação de luz do tipo LED em plantas de girassol ornamental  
(*Helianthus annuus*) cultivadas em vaso**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Jose A. Saraiva Grossi

Coorientadores: Affonso H. Lima Zuin  
Ernesto J. R. Rodrigues  
Paulo Roberto Cecon

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S237s  
2025 Santos Filho, Fernando Batista dos, 1997-  
Suplementação de luz do tipo LED em plantas de girassol  
ornamental (*Helianthus annuus*) cultivadas em vaso / Fernando  
Batista dos Santos Filho. – Viçosa, MG, 2025.  
1 dissertação eletrônica (39 f.): il. (algumas color.).

Orientador: José Antonio Saraiva Grossi.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Agronomia, 2025.  
Referências bibliográficas: f. 34-39.  
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.195>  
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Girassol - Cultivo. 2. Girassol - Qualidade - Efeito da  
iluminação. 3. Diodos emissores de luz. I. Grossi, José Antonio  
Saraiva, 1966-. II. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em  
Fitotecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 635.93399

**FERNANDO BATISTA DOS SANTOS FILHO**

**Suplementação de luz do tipo LED em plantas de girassol ornamental  
(*Helianthus annuus*) cultivadas em vaso**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 17 de fevereiro de 2025.

Assentimento:

---

Fernando Batista dos Santos Filho  
Autor

---

Jose Antonio Saraiva Grossi  
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 14/04/2025 às 18:15:43 e pelo orientador em 23/04/2025 às 18:27:26. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **27FU.UHVG.E1Q2** e clique no botão 'Validar documento'.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço a Deus pelas oportunidades e por me manter forte diante dos desafios.

À UFV, por ser minha casa há tanto tempo e por me conhecer como ninguém.

À CAPES, pelo apoio financeiro para realização deste trabalho.

Ao meu orientador, professor Grossi, por ser minha bússola nesta caminhada acadêmica desde a graduação e por ter me feito lembrar do porquê escolhi Agronomia.

Ao Toshik, por ter plantado em mim a semente da pesquisa.

A todos os membros da UEPE – Floricultura, pelo apoio, assistência e atenção ao longo desta jornada.

Aos membros da banca, pelas contribuições com o trabalho.

Aos meus pais, Andrea e Fernando, sem os quais eu não teria chegado até aqui. Tudo é por vocês.

Às as minhas irmãs, Pollyana e Thassiana, por serem o exemplo que desejo seguir.

Ao Walter, por ser minha fundação, meu melhor amigo e meu companheiro.

Ao Nico, meu gato, pela companhia durante a escrita desta pesquisa – mesmo que isso significasse deitar em cima do teclado.

E, em especial, à Floricultura, por ter me encontrado.

## RESUMO

FILHO, Fernando Batista dos Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2025. **Suplementação de luz do tipo LED em plantas de girassol ornamental (*Helianthus annuus*) cultivadas em vaso.** Orientador: Jose Antonio Saraiva Grossi. Coorientadores: Affonso Henrique Lima Zuin, Ernesto Jose Resende Rodrigues e Paulo Roberto Cecon.

O girassol (*Helianthus annuus*) é uma espécie bem explorada no setor ornamental, pois tem uso como flor de corte, utilizada para composição de arranjos florais, e como flor de vaso, utilizada na decoração de ambientes. Nos últimos anos, a produção hortícola em casas de vegetação com suplementação artificial de luz tem se popularizado, principalmente em regiões que recebem poucas horas de luz solar por dia ou em épocas do ano em que a iluminação natural é baixa. Com isso objetivo do trabalho consiste em determinar o período de iluminação suplementar mais adequado visando obter um produto que atenda aos requisitos de mercado e tenha qualidade e avaliar a eficiência da tecnologia da suplementação luminosa de luz LED no controle do crescimento de plantas de girassol cultivadas em vaso. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Unidade de Pesquisa Ensino e Extensão – Floricultura, da Universidade Federal de Viçosa, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos: testemunha (sem iluminação suplementar), 12 horas de iluminação suplementar durante o dia (das 06:00 até 18:00), 12 horas de iluminação suplementar durante a noite (das 18:00 até 06:00) e 24 horas de iluminação suplementar, com três repetições (bancadas) e três plantas por repetição. A altura das plantas, diâmetro das plantas, diâmetro da haste, número de folhas, índices de clorofila, taxa de fotossíntese líquida, condutância estomática, concentração de carbono interno, transpiração eficiência do uso da água, taxa de transporte de elétrons, taxa de transpiração e respiração foram avaliados. A tecnologia LED contribuiu para o aumento na altura das plantas. A suplementação de luz LED de 06:00 até 18:00 favoreceu a redistribuição de biomassa para a floração, enquanto os tratamentos de 18:00 até 06:00 e 24 horas resultaram em maior acúmulo de biomassa fresca e seca nas folhas e nos caules. Os achados deste estudo reforçam a importância da escolha do regime de suplementação luminosa em girassóis, uma vez que as condições de luz influenciam na partição do acúmulo de biomassa ou para as folhas e caule ou para as inflorescências.

Palavras-chave: cultivo protegido; intensidade luminosa; floricultura

## ABSTRACT

FILHO, Fernando Batista dos Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2025. **LED light supplementation in ornamental sunflower plants (*Helianthus annuus*) grown in pots.** Adviser: Jose Antonio Saraiva Grossi. Co-advisers: Affonso Henrique Lima Zuin, Ernesto Jose Resende Rodrigues and Paulo Roberto Cecon.

The sunflower (*Helianthus annuus*) is a species widely exploited in the ornamental sector, as it is used as a cut flower for floral arrangements and as a potted plant for decoration. In recent years, horticultural production in greenhouses with artificial light supplementation has become more popular, especially in regions that receive few hours of sunlight per day or during times of the year when natural light is low. Therefore, the objective of this study is to determine the most suitable supplementary lighting period to produce a product that meets market requirements and has good quality, as well as to evaluate the efficiency of LED light supplementation technology in controlling the growth of potted sunflower plants. The experiment was conducted in the greenhouse of the Teaching, Research, and Extension Unit – Floriculture, at the Federal University of Viçosa, using a completely randomized design with four treatments: control (no supplementary lighting), 12 hours of supplementary lighting during the day (from 06:00 to 18:00), 12 hours of supplementary lighting during the night (from 18:00 to 06:00), and 24 hours of supplementary lighting, with three repetitions (benches) and three plants per repetition. The plant height, plant diameter, stem diameter, number of leaves, chlorophyll index, net photosynthesis rate, stomatal conductance, internal carbon concentration, transpiration, water use efficiency, electron transport rate, transpiration rate, and respiration were evaluated. LED technology contributed to an increase in plant height. The LED light supplementation from 06:00 to 18:00 favored the redistribution of biomass to flowering, while the treatments from 18:00 to 06:00 and 24 hours resulted in greater accumulation of fresh and dry biomass in the leaves and stems. The findings of this study emphasize the importance of choosing the proper light supplementation regime for sunflowers, as light conditions influence the partitioning of biomass accumulation either to the leaves and stems or to the inflorescences.

Keywords: greenhouse cultivation; light Intensity; floriculture

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Plantas de girassol sob intensidade luminosa de $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ emitida pela placa LED. ....	22
Figura 2: Vista das peças brancas e vermelhas da placa LED. ....	22
Figura 3: Estágios de desenvolvimento 1 ao 5 da inflorescência das plantas de girassol. ....	23
Figura 4: Efeito da suplementação de luz do tipo LED no crescimento de plantas de girassol ( <i>Helianthus annuus</i> ). ....	25

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo da ANOVA de número de folhas, diâmetro da planta, diâmetro da haste e altura de planta para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol. ....	24
Tabela 2: Valores médios de número de folhas, diâmetro da planta, diâmetro da haste e altura de planta dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.....	24
Tabela 3: Resumo da ANOVA de massa fresca das folhas, massa fresca da inflorescência e massa fresca do caule para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol. ....	25
Tabela 4: Valores médios de massa fresca das folhas, massa fresca da inflorescência e massa fresca do caule dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.....	26
Tabela 5: Resumo da ANOVA de massa seca das folhas, massa seca da inflorescência e massa seca do caule para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol. ....	26
Tabela 6: Valores médios de massa seca das folhas, massa seca da inflorescência e massa seca do caule dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.....	27
Tabela 7: Resumo da ANOVA dos índices Clorofila a, clorofila b e clorofila total para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.....	27
Tabela 8: Valores médios dos índices de clorofila a, clorofila b e clorofila total dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol. ....	27
Tabela 9: Resumo da ANOVA de área foliar para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol. ....	28
Tabela 10: Valores médios de área foliar dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol. ....	28
Tabela 11: Resumo da ANOVA de número de dias para atingir o estágio 5, vida útil da inflorescência e diâmetro da inflorescência para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.....	28
Tabela 12: Valores médios do número de dias para atingir o estágio 5, vida útil da inflorescência e diâmetro da inflorescência dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol. ....	29
Tabela 13: Resumo da ANOVA de A= taxa de fotossíntese líquida, gs= condutância estomática, Ci= concentração de carbono interno, WUE= eficiência do uso da água e ETR= taxa de transporte de elétrons para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.....	29

Tabela 14: Valores médios de  $A$ = taxa de fotossíntese líquida,  $g_s$ = condutância estomática,  $C_i$ = concentração de carbono interno,  $WUE$ = eficiência do uso da água e  $ETR$ = taxa de transporte de elétrons dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol..... 30

Tabela 15: Resumo da ANOVA de  $E$ = taxa de transpiração e  $RE$ = taxa de respiração para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol..... 30

Tabela 16: Valores médios de  $E$ = taxa de transpiração e  $RE$ = taxa de respiração dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol. .... 31

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

3-PGA	3-Fosfoglicerato
ANOVA	Análise de Variância
ATP	Adenosina Tri-Fosfato
CEAGESP	Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo
Chl	Clorofila
ClorofiLOG	Clorofilômetro eletrônico portátil
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
EROS	Espécies Reativas de Oxigênio
H <sub>2</sub> O	Água
IBRAFLOR	Instituto Brasileiro de Floricultura
ICF	Índice de Clorofila Falker
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IRGA	Analisador de Gás Infravermelho
LED	Diodo Emissor de Luz (Light-Emitting Diode)
NADP <sup>+</sup>	Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Fosfato
NADPH	Nicotinamida reduzida
NPK	Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K)
PAR	Radiação Fotossinteticamente Ativa
PBZ	Paclobutrazol
pH	Potencial Hidrogeniônico
ppm	Partes por Milhão
PIB	Produto Interno Bruto
RuBisCO	Ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase
UV	Radiação Ultravioleta

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\%$	Porcentagem
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
A	Ampere
A	Taxa de Fotossíntese Líquida
$C_i$	Concentração de Carbono Interno
cm	Centímetro
$\text{cm}^2$	Centímetro Quadrado
$E$	Taxa de Transpiração
$ETR$	Taxa de Transporte de Elétrons
g	Gramas
$g_s$	Condutância Estomática
K	Kelvin
L	Litro
m	Metro
$\text{m}^2$	Metro Quadrado
mg	Miligrama
mL	Mililitro
$\mu\text{mol}$	Micromol
nm	Nanômetro
$R_e$	Respiração
s	Segundo
V	Volt
W	Wat
$WUE$	Eficiência do Uso da Água

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. Aspectos econômicos da floricultura.....	13
2.2. Cultura do girassol .....	14
2.3. Regulador de crescimento – Paclobutrazol.....	15
2.4. Casas de vegetação .....	16
2.5. Cultivos em recipientes e substrato de plantas .....	17
2.6. Tecnologia de díodos emissores de luz (LED) .....	18
2.7. Fotoperíodo e sua influência na cultura do girassol .....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	20
3.1. Girassol Vincent Choice .....	21
3.2. Placa LED utilizada .....	22
3.3. Estágios da inflorescência.....	23
3.4. Análise estatística .....	23
4. RESULTADOS .....	23
5. DISCUSSÃO.....	31
6. CONCLUSÃO .....	34
7. REFERÊNCIAS.....	34

## 1. INTRODUÇÃO

A floricultura é um ramo da horticultura que diz respeito ao cultivo de plantas floríferas e ornamentais para jardins e decoração. Envolve múltiplos produtos de exploração que vão desde de flores e folhagens de corte, plantas ornamentais envasadas, gramas, até a produção de bulbos, rizomas, tubérculos, estacas e sementes, destinadas para o paisagismo, jardinagem e para ambientes internos (BRAINER, 2018). A floricultura é considerada uma indústria em crescimento devido à urbanização e ao aumento dos padrões de vida das pessoas, o desejo pela beleza e vitalidade das plantas tem determinado as perspectivas de mercado, gerando demandas crescentes por flores e produtos florais, tornando-a um dos mais importantes setores comerciais na agricultura (WANI et al., 2018). As diversas preferências dos consumidores e sua percepção única de beleza servem de alicerce para encontrar novas formas de flores e plantas ornamentais (KUZICHEV; KUZICHEVA, 2016).

Além de ser uma planta comestível e medicinal, o girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma espécie bem explorada no setor ornamental. Tem uso como flor de corte, utilizada para composição de arranjos florais, e como flor de vaso, utilizada na decoração de ambientes (DALCHIAVON et al., 2016). Há 200 anos é cultivada quase exclusivamente como planta ornamental na Europa (GARAYALDE et al., 2015).

A produção hortícola, que inclui o cultivo de flores, hortaliças e frutas, em casas de vegetação com suplementação artificial de luz tem se popularizado, principalmente em regiões que recebem poucas horas de luz solar por dia ou em épocas do ano em que a iluminação natural é baixa, é uma ferramenta que melhora o desempenho das plantas e, conseqüentemente, a qualidade e rentabilidade para as espécies ornamentais (ALSANIUS et al., 2017). A tecnologia LED oferece uma fonte de luz altamente eficiente com tamanho portátil, vida útil longa, baixa emissão de calor e a possibilidade de selecionar comprimentos de onda específicos para respostas direcionadas das plantas (RABARA et al., 2017). As faixas espectrais mais eficientes em LEDs para aplicações agrícolas são as do azul, vermelho e branco, a combinação dessas cores é muito utilizada em luminárias comerciais. Outras cores podem ser utilizadas para fornecer comprimentos de onda específicos, ajustando-se às necessidades fotossintéticas de cada espécie cultivada (SEEDAPALEE et al., 2021). A radiação ultravioleta (UV) normalmente está ausente nas tecnologias LED porque reduzem significativamente a eficiência da luminária, porém, a falta de dela causa distúrbios em algumas espécies e esta é uma preocupação com luminárias LED quando usadas sem luz solar (NELSON; BUGBEE, 2014). A tecnologia LED

para iluminação emite radiação na faixa do vermelho distante, o que diminui o tempo de floração em várias espécies sensíveis ao fotoperíodo (NELSON; BUGBEE, 2014).

O fotoperíodo é um sinal ambiental que induz a diferenciação das gemas presentes na planta em reprodutivas ou vegetativas, além de induzir a formação de tubérculos e controlar a floração. Normalmente, essas respostas são determinadas principalmente pela duração do período de escuridão (OWEN et al., 2018).

Quando o número de horas de iluminação natural é curto, como durante o inverno, os produtores de plantas ornamentais em ambiente protegido podem recorrer à iluminação suplementar para encurtar noites e promover ou inibir a floração de plantas de dia longo ou curto, respectivamente. Estimular a floração de plantas de dia longo reduz o tempo de produção, enquanto atrasar a floração de plantas de dia curto permite que o crescimento vegetativo se adeque aos padrões comerciais desejáveis (OWEN et al., 2018).

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar a eficiência da tecnologia de luz LED na suplementação luminosa no controle do crescimento de plantas de girassol ornamental cultivadas em vaso. Avaliar a qualidade de plantas de girassol ornamental, cultivadas em vaso, sob diferentes períodos suplementação artificial de luz.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Aspectos econômicos da floricultura**

No Brasil, a área cultivada com flores e plantas ornamentais é cerca de 15,6 mil hectares, distribuídos entre 8,3 mil produtores, sendo a maior parte desenvolvida em pequenas propriedades, com área média de cultivo de 1,8 hectares (IBRAFLOR, 2024). O setor de produção e comercialização de produtos ornamentais gera mais de 263 mil empregos diretos e 800 mil empregos indiretos no país, sendo o setor agropecuário que mais emprega mulheres, representando 56,2% da força total de trabalho (IBRAFLOR, 2024). Desde 2017, o PIB movimentado no mercado interno segue uma tendência de crescimento, atingindo R\$ 17,8 bilhões em 2023, houve apenas uma queda de 3,2% comparada ao ano anterior (IBRAFLOR, 2024). Surpreendentemente, durante o período de pandemia da COVID-19 o setor teve um aumento de 5% no faturamento em comparação com ano anterior.

A maior área de fomento do setor no país é a região Sudeste, que detém 62,22% da área total nacional e onde se encontram os principais centros de comercialização do País: CEAGESP (Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo), Ceasa Campinas e a Cooperativa Veiling Holambra (IBRAFLOR, 2024). Em 2023 essa região contava com cerca de 152 mil empregos diretos, 5,6 mil produtores e PIB de R\$11,39 bilhões (IBRAFLOR, 2024).

O cultivo brasileiro de flores e plantas ornamentais é feito, em sua maioria, a céu aberto, cerca de 67%, seguido das casas de vegetação, cerca de 29% e 4% em tela (BRAINER, 2018).

## 2.2. Cultura do girassol

O girassol é originário da América do Norte, numa uma região compreendida entre o norte do México e o Estado de Nebraska nos Estados Unidos, é considerado uma planta herbácea pertencente à família Asteraceae, junto de flores como as calêndulas e as dalias. A nomenclatura do gênero deriva do grego *hélíos*, que significa sol, e de *anthus*, que significa flor, ou "flor do sol", compreende 49 espécies. É uma planta que possui inflorescência em forma de capítulo, frutos do tipo aquênio, suas folhas são alternadas e opostas e seu sistema radicular é pivotante com raiz principal (dos SANTOS et al., 2021).

O girassol é cultivado em todo o mundo, é uma planta de ciclo anual e de características como o rápido crescimento, caule retilíneo e pouco ramificado, além de ser considerado altamente resistente a estresses como seca, frio e o calor (DALCHIAVON et al., 2016). É uma cultura que apresenta rápido desenvolvimento radicular, o que contribui para a maior tolerância ao déficit hídrico, além de também promover a ciclagem de nutrientes das camadas mais profundas do solo. Atualmente, faz parte de três tipos de mercados: o comestível, o medicinal e o ornamental, gerando emprego e renda (BAI et al., 2023).

O girassol é uma planta pertencente ao grupo das C3, o processo de fotossíntese desse grupo envolve a fixação do CO<sub>2</sub> através da enzima Ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (RuBisCO), que reage com o dióxido de carbono no ciclo de Calvin para formar o 3-fosfoglicerato (3-PGA), o primeiro composto de três carbonos formado na fotossíntese. Por ser uma planta C3, apresenta um crescimento ideal em temperaturas moderadas, em torno de 20 a 30 °C, e é capaz de produzir grandes quantidades de biomassa, especialmente em condições controladas. No entanto, sua eficiência fotossintética pode ser comprometida em climas mais quentes devido à fotorrespiração (BRAGA et al., 2021).

O cultivo do girassol no Brasil iniciou-se na região Sul, no século XIX, e sua distribuição no território nacional se deu inicialmente por colonizadores europeus que consumiam as sementes torradas e fabricavam chá (GAZZOLA et al., 2012). A partir de 1998, a produção do girassol se tornou expressiva no país, principalmente nos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul. A cultura se adapta a condições edafoclimáticas diferentes o que possibilita ser cultivada na maioria das regiões do Brasil (GUPTA et al., 2012).

Existem dois tipos de flores no capítulo do girassol: flores do raio, estão localizadas no verticilo mais externo do capítulo, possuem três pétalas alongadas e são estéreis, retendo apenas restos de filamentos dos estames e ovários sem óvulos e as flores do disco, também conhecidas

como “flores tubulares”, estão localizadas no centro do capítulo e têm aspecto espiral, tanto para a direita quanto para a esquerda (LIANG et al., 2013). Normalmente as flores do raio são amarelas, mas existem variedades com tons de vermelho, de laranja e combinações entre elas, enquanto as flores do disco são dependentes da presença ou ausência de antocianina para definir sua coloração. Quando sem antocianinas são marrons e, quando na presença, assumem aspecto vermelho-alaranjado, estas estão ficando bastante populares nos últimos anos, por proporcionar novos contrastes de cores e chamar a atenção dos consumidores (CVEJÍĆ et al., 2016). A cor dos girassóis representa sua característica principal, mais chamativa, o que coloca a cultura entre as flores de corte e variedades de vaso mais importantes.

Uma das características mais conhecidas do girassol é o heliotropismo, fenômeno em que as plantas jovens ajustam a orientação de suas partes, principalmente as folhas e as flores, em direção à luz solar, movendo-se de leste para oeste. É uma forma eficaz de aumentar a absorção da radiação e também auxilia no aquecimento da planta, atraindo polinizadores. As auxinas se acumulam na região sombreada das plantas, quando a luz incide diretamente sobre elas, esse acúmulo é inibido no lado iluminado, promovendo o crescimento celular no lado sombreado. Esse desequilíbrio no crescimento das células faz com que a planta se mova para a direção da luz, ou seja, para o sol (BROOKS; ATAMIAN; HARMER, 2023).

A cultura do girassol apresenta altos índices de acamamento, que está relacionado com altura elevada e diâmetro reduzido do caule, ocasionando uma sustentação desbalanceada e, conseqüentemente, perdas na qualidade. Para evitar o acamamento, a planta precisa possuir caules grossos, com entrenós curtos, a fim de sustentar o peso dos capítulos (NUNES et al., 2022). A elevada altura é considerada uma desvantagem, principalmente quando a planta é cultivada em condições que estimulam o maior crescimento, como fertilidade do solo e altas densidades ou em locais com ocorrência frequente de ventos fortes, o que leva ao tombamento (WANDERLEY et al., 2014). Como forma de controlar a altura das plantas cultivadas, se utiliza os reguladores de crescimento, são produtos sintéticos que atuam, em sua maioria, inibindo a síntese de giberelinas, o que estimula alterações na diferenciação de gemas, órgãos e tecidos das plantas (TAIZ et al., 2017).

### **2.3. Regulador de crescimento – Paclobutrazol**

Reguladores de crescimento de plantas são moléculas orgânicas, produzidas sinteticamente, e são utilizadas para padronizar as culturas. Quando aplicados na dose recomendada, eles reduzem o crescimento acelerado de algumas espécies sem causar impactos negativos na qualidade visual e não provocam intoxicações (SANTOS FILHO et al., 2022).

O paclobutrazol (PBZ) é um regulador de crescimento pertencente à família dos triazóis, grupo reconhecido pelo seu potencial fungicida e antimicrobiano (DE ALMEIDA DANTAS et al., 2023). A aplicação de PBZ atua na via hormonal das giberelinas e bloqueia a ação da enzima Kaurene Oxidase, evitando a formação de qualquer giberelina e causando mudanças nos níveis de citocinina, ácido abscísico e etileno, resultando na redução da altura, redução da divisão celular e entrenós mais curtos (SANTOS FILHO et al., 2022). É considerado mais eficiente quando a solução é aplicada diretamente no substrato do que nas folhas, pois é translocado quase exclusivamente via xilema, das raízes até os pontos de crescimento (SARKAR, 2023).

Reguladores de crescimento são utilizados em folhagens e flores ornamentais com o objetivo de alterar a altura das plantas, acelerar a floração, aumentar o número de flores, promover o desenvolvimento de mais hastes por planta e melhorar a resistência a alguns tipos de estresse. Estudos prévios relataram que a aplicação de PBZ em plantas de girassol reduziu a altura da planta e o número de nós (KOUTROUBAS; DAMALAS, 2015).

#### **2.4. Casas de vegetação**

Nos últimos anos, a população mundial segue uma tendência de crescimento, o que tem levado ao aumento na demanda por produtos agrícolas. Devido a isso, vários países têm intensificado a produção nas áreas de terra que já são usadas para a agricultura, adotando o cultivo, por exemplo, em casas de vegetação para uma produção mais eficaz e sustentável (VISHWAKARMA et al., 2016).

O cultivo nas casas de vegetação é muito adotado para produtos sensíveis e de alto valor agregado, como a floricultura. Elas protegem as culturas de fatores prejudiciais, como grandes variações de temperatura, geadas, ventos fortes, tempestades, períodos de estiagem e ataques de pragas e doenças. Nestes ambientes controlados, as condições ideais para o desenvolvimento das plantas podem ser incrementadas, com a utilização de tecnologias mais avançadas, objetivando o aumento da qualidade, produtividade e vida útil desses produtos sensíveis, além de proporcionar mudanças na época do plantio e da colheita, quando comparada com o cultivo em campo (MELLIT et al., 2021).

As casas de vegetação são estruturas fechadas que podem ser construídas com diversos materiais, como madeira, alumínio, ferro ou concreto, e são cobertas com superfícies transparentes que permitem a passagem da luz solar para o desenvolvimento das culturas. A escolha do tipo de construção varia conforme cada região e o tipo de planta a ser cultivada (DE BORBA et al., 2022).

O Brasil possui clima bastante propício ao cultivo de um grande número de espécies da horticultura, pois suas regiões se caracterizam pela diversidade climática, que favorece uma

ampla variedade de culturas agrícolas. No entanto, o cultivo a céu aberto está exposto a fatores que podem prejudicar as plantações, resultando em consequências indesejadas (MELLIT et al., 2021). Por isso, a utilização de ambientes protegidos e controlados para o plantio tem se tornado cada vez mais comum na agricultura brasileira, o que destaca a importância do estudo das casas de vegetação no território nacional.

## **2.5. Cultivos em recipientes e substrato de plantas**

Relacionado ao cultivo em ambientes protegidos está o uso de recipientes e substratos. Substratos para plantas são geralmente definidos como qualquer material poroso, usado sozinho ou em mistura, que, quando colocado em recipientes, proporciona suporte, retenção adequada de água e níveis ideais de oxigênio para o desenvolvimento das plantas (SCHAFER; LERNER, 2022). No Brasil, o termo foi oficialmente reconhecido pelo Ministério da Agricultura em 2004, sendo conceituado como: "produto utilizado como meio para o cultivo de uma planta".

As principais funções de um substrato para plantas são: fornecer suporte às raízes, reter e disponibilizar água, ter espaço para a aeração, apresentar estabilidade estrutural, capacidade de adsorção, resistência a variações de pH, baixa atividade biológica, ausência de patógenos, doenças e substâncias prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, ter boa capacidade de reidratação após secagem e serem de fácil armazenamento (SCHAFER; LERNER, 2022).

A escolha do substrato é fundamental para o sucesso do sistema de cultivo. Os principais materiais utilizados, tanto puros quanto em misturas, no mercado global, incluem turfa, fibra de madeira, fibra de coco, casca de árvores, argila expandida e vermiculita. No Brasil, os materiais mais utilizados nos substratos comerciais são a fibra de coco, cascas de pinus e eucalipto, turfa, casca de arroz carbonizada, vermiculita e argila expandida (SCHAFER, 2022).

As condições de desenvolvimento adequado de plantas em recipientes são diferentes das observadas em campo, devido à limitação de espaço para o crescimento das raízes, troca gasosas e controle da água. Além do substrato, a escolha do recipiente é crucial para o sucesso no cultivo das plantas. Os recipientes estão disponíveis em uma grande variedade de formas, tamanhos e cores, variando desde vasos plásticos até sacos de cultivo. Cada tipo de recipiente influencia na drenagem da água, na ventilação das raízes e na retenção de nutrientes. São obtidos a um preço relativamente baixo, o que ajudou a popularizar os recipientes plásticos na produção ornamental (NAMBUTHIRI et al., 2015).

O uso de recipientes e substrato para plantas ocorre em diversas áreas da produção agrícola. A horticultura ornamental é a terceira área que mais consome esses insumos, ficando atrás da horticultura e da produção de mudas de árvores. Eles são utilizados na propagação de

mudas, no cultivo de flores e folhagens envasadas, na produção de plantas para jardins e em flores de corte (SCHAFER; LERNER, 2022).

## **2.6. Tecnologia de díodos emissores de luz (LED)**

A luz é a primeira e principal fonte de energia em um sistema agrícola, essencial para o processo de fotossíntese, é considerada o fator mais limitante, seguido de água e nutrientes. Durante a fotossíntese, menos de 5% da energia solar disponível é convertida em carboidratos, enquanto a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) é, em sua maioria, absorvida pelas plantas, com aproximadamente 15% sendo refletida (PORFIRIO; MORAES; JUNIOR, 2024).

A suplementação de luz artificial é um componente crítico na agricultura para ambientes protegidos destinados a fornecer produtos frescos da horticultura, como flores, frutas e hortaliças, especialmente em áreas urbanas, já que a luz não apenas atua como fonte de energia, mas também regula a morfologia das plantas induzindo diversas respostas fisiológicas (SEEDAPALEE et al., 2021). Nos sistemas de cultivo *Indoor*, é necessário alto investimento para um rendimento satisfatório, sendo fundamental a atenção em todas as variáveis, principalmente a fonte primária de energia de um sistema agrícola (PORFIRIO; MORAES; JUNIOR, 2024).

A tecnologia de díodos emissores de luz (LED) foi introduzida como uma estratégia para reduzir o consumo de energia e os custos de produção nas casas de vegetação, como alternativa frente as lâmpadas incandescentes e fluorescentes (ALSANIUS et al., 2017). As lâmpadas incandescentes e fluorescentes são fontes de luz historicamente utilizadas em casas de vegetação para o controle da floração, porém, as lâmpadas incandescentes foram gradativamente descontinuadas devido à sua ineficiência energética e vida útil curta. Lâmpadas fluorescentes possuem distribuições espectrais deficientes na faixa do vermelho distante, que é crucial para a floração rápida de algumas plantas (OWEN et al., 2018).

As respostas das plantas são desencadeadas por mudanças na intensidade, direção, qualidade e duração da luz, são percebidas por fotorreceptores como fitocromos e criptocromos, que absorvem a radiação e intermediam processos morfológicos e de desenvolvimento, como alongamento do caule e floração (OWEN et al., 2018). As proteínas fotorreceptoras têm uma pequena molécula de cofator que as permite detectar e responder a comprimentos de onda específicos de luz em uma faixa espectral contínua (BURGIE et al., 2014). Alguns sistemas fotossensíveis já são bem conhecidos, como os fitocromos, que absorvem na região vermelha (600-700 nm) e vermelho distante (700-750 nm), enquanto a luz azul (390-500 nm) é absorvida por três classes diferentes de fotorreceptores: criptocromos, fototropinas e membros da família Zeitzlupe (BANTIS et al., 2018). Os criptocromos estão presentes em muitas espécies de plantas

e mediam uma variedade de processos ao longo do ciclo de vida, como indução da germinação das sementes, desenvolvimento das folhas, alongamento das raízes e tolerância a estresses bióticos e abióticos. Já os fitocromos mediam o crescimento em extensão, a floração em plantas sensíveis ao fotoperíodo, regulam a abertura estomática, participam da biossíntese de antocianinas e na germinação da semente (CRAIG; RUNKLE, 2013). Durante a fotossíntese, as clorofilas absorvem principalmente luz azul-violeta (390 a 500 nm) e luz vermelha (600 a 700 nm), enquanto os carotenoides absorvem principalmente luz azul-violeta.

O espectro necessário para a fotossíntese varia entre aproximadamente 400–720 nm, as faixas do azul e do vermelho são as que mais contribuem para a fotossíntese das plantas. A luz azul promove o crescimento do caule e das folhas, estimulando o acúmulo de biomassa, enquanto a luz vermelha favorece a floração, a frutificação e o aumento do peso seco e número de folhas (CHOONG et al., 2018). O uso de comprimentos de onda vermelhos (600–700 nm), por estarem próximos do pico de absorção da clorofila (Chl), geralmente aumentam a fotossíntese de maneira mais eficiente, pois são absorvidos pelos pigmentos das plantas. Já os comprimentos de onda azuis (390-500 nm) desempenham papéis fotomorfogênicos, como regulação do fototropismo, das relações hídricas e da troca de dióxido de carbono, além de promover a alongação do caule e o controle estomático (HE et al., 2017).

## **2.7. Fotoperíodo e sua influência na cultura do girassol**

As plantas são classificadas em grupos de resposta fotoperiódica dependendo de como o comprimento da noite, ou seja, quando não há nenhuma fonte emissora de radiação, influencia a floração. As espécies de plantas, incluindo as ornamentais, são classificadas como plantas de dia longo, de dia curto ou insensíveis (neutras) ao fotoperíodo. Plantas de dia longo, para induzir a floração, necessitam de receber um número de horas de iluminação superior que o fotoperíodo crítico da espécie, caso a duração oferecida seja menor que o fotoperíodo crítico, as gemas vegetativas irão continuar a vegetar. Já para as plantas de dia curto, o contrário acontece, para que haja a diferenciação em gemas reprodutivas (floração), a planta precisa receber um número de horas de iluminação inferior ao fotoperíodo crítico (OWEN et al., 2018). Fotoperíodo crítico pode ser entendido como o número de horas que a cima ou abaixo irá desencadear diferenciações nas gemas das plantas. As espécies classificadas como insensíveis ao fotoperíodo precisam de outros estímulos, que não a luz, para que haja a indução floral, como temperatura ou outros fatores genéticos.

O girassol (*Helianthus annuus*) é classificado como uma planta insensível ao fotoperíodo, ou seja, ele floresce sob qualquer comprimento de dia. Contudo, alguns genótipos apresentam comportamento diferenciado, podendo se comportar como plantas de dia curto ou

de dia longo, com fotoperíodo crítico de 12 horas, dependendo da variedade (UNGARO; CASTRO; FARIAS, 2009) (BLACKMAN, 2013).

Trabalhos anteriores documentaram uma grande variação no tempo de floração e na resposta ao fotoperíodo em plantas de girassol (CASTRO; FARIAS, 2005) (BLACKMAN, 2013). Durante a história evolutiva da espécie, o girassol passou pelo desenvolvimento de populações em diversas regiões dentro da América do Norte, as provenientes mais ao norte do continente apresentam respostas de floração mais adaptadas a dias curtos e neutros, enquanto aquelas localizadas em regiões mais ao sul apresentam respostas a dias longos. Esse processo adaptativo ao ambiente local levou a mudanças genéticas nas populações, causando uma ampla variabilidade na resposta ao fotoperíodo (HENRY; WATSON; BLACKMAN, 2014).

A diversidade da resposta ao fotoperíodo da cultura do *Helianthus annuus* não foi amplamente investigada, se fazendo necessários estudos para aprofundar os efeitos de diferentes fotoperíodos nessa planta e suas variedades, a fim de dar mais suporte aos produtores de plantas ornamentais e otimizar seus cultivos.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Unidade de Pesquisa Ensino e Extensão – Floricultura, da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Teve início no dia 23 de maio de 2024. Foram utilizadas sementes de girassol da empresa SAKATA® variedade Vincent Choice. A temperatura média para a cidade de Viçosa durante o período do experimento foi de 20,9 °C (INMET, 2024). A temperatura máxima atingida dentro da casa de vegetação durante o período do experimento foi de 36,2 °C e a mínima foi de 9,4 °C.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos: testemunha (sem iluminação suplementar), 12 horas de iluminação suplementar durante o dia (das 06:00 até 18:00), 12 horas de iluminação suplementar durante a noite (das 18:00 até 06:00) e 24 horas de iluminação suplementar, com 3 repetições (bancadas) e 3 plantas por repetição. As plantas de girassol foram produzidas em vasos plástico n° 15 contendo substrato comercial (Mecplant®). As placas de LED, para todos os tratamentos, emitiram intensidade luminosa de 120  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e estavam a 40 cm de distância da copa das plantas. Em cada bancada foram conduzidas seis plantas, três destinadas para as análises destrutivas e outras três para análises não destrutivas.

A fim de adequar a altura das plantas ao padrão Veiling Holambra de qualidade, com a intensão de proporcionar maior harmonia entre o tamanho do vaso e tamanho da planta, foi realizada a aplicação de Paclobutrazol em todas as plantas, incluindo o tratamento controle. Após uma semana do plantio, foram feitas quatro aplicações (30 mL) do produto diretamente

nos vasos, espaçadas por uma semana cada, totalizando 6 mg/vaso de paclobutrazol. Durante toda a condução, a irrigação foi realizada conforme a necessidade das plantas, enquanto a fertirrigação foi aplicada diariamente na concentração de 1 g/L de NPK + micronutrientes (Peters 20-20-20) em cada vaso.

A altura da planta (medida com uma régua da inserção radicular até suas últimas folhas – expressa em cm), diâmetro da planta (medido com uma trena graduada – expresso em cm), diâmetro da haste (medido com um paquímetro manual – expresso em cm) e número de folhas foram avaliados aos 80 dias após o plantio. As inflorescências, folhas e caules foram secadas em estufa de secagem com circulação de ar forçado a 70 °C por 72 horas. Cada parte da planta foi pesada separadamente em balança analítica (0,001g).

As determinações dos índices de clorofila a, b e total foram realizadas pelo método não destrutivo, utilizando-se clorofilômetro eletrônico portátil (ClorofiLOG® - modelo CFL 1030, Porto Alegre, RS), tendo os valores dimensionados em índice de clorofila Falker (ICF). Um analisador de gás infravermelho (IRGA- modelo LCPro, ADC BioScientific Ltd.) foi usado para a avaliação das trocas gasosas, sendo as medições aferidas entre 20:00 e 22:00 em duas folhas por planta. A temperatura da câmara foi de 25 °C. A taxa de fotossíntese líquida ( $A = \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s = \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), concentração de carbono interno ( $C_i = \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$ ), transpiração ( $E = \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), eficiência do uso da água ( $\text{WUE} = \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}$ ), taxa de transporte de elétrons ( $\text{ETR} = \mu\text{mol e}^- \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), taxa de transpiração ( $E = \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e respiração ( $R_e = \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) foram avaliadas.

Para as análises não destrutivas, foram avaliados o número de dias para as inflorescências atingirem o estágio 5, o diâmetro da inflorescência ao atingir o estágio 5 (medido com régua – expresso em cm) e a vida útil da inflorescência (até sua primeira pétala cair).

Os tratos culturais, como tutoramento e retirada de plantas daninhas do vaso foram feitos de acordo com a necessidade das plantas, durante a condução.

### **3.1. Girassol Vincent Choice**

O girassol Vincent Choice, da empresa SAKATA®, é uma variedade precoce, com ciclo de 55 a 60 dias, desenvolvida principalmente para uso ornamental e destaca-se por sua ausência de produção de pólen, essa característica prolonga sua durabilidade e não suja as pétalas das plantas no seu manuseio, sendo ideal para arranjos florais e para decoração. A variedade apresenta neutralidade ao fotoperíodo, o que permite o cultivo em qualquer época do ano, adaptando-se bem a diferentes condições climáticas (SAKATA, 2024). Possui pétalas do raio na coloração amarelo vibrante e as pétalas do disco na cor marrom.

### 3.2. Placa LED utilizada

A iluminação suplementar utilizada no experimento ocorreu através do uso de painéis LED de espectro amplo, que oferecem luz no comprimento de onda branco 3000k (210 peças) e vermelho 660 nm (24 peças). O aparelho apresenta potência de 100 W, 1,4 A e 127 V (Figura 1).

Figura 1: Plantas de girassol sob intensidade luminosa de  $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  emitida pela placa LED.



Fonte: De autoria própria.

Figura 2: Vista das peças brancas e vermelhas da placa LED.



Fonte: De autoria própria.

### 3.3. Estágios da inflorescência

Durante a condução do experimento, foram classificados 5 estágios de desenvolvimento da inflorescência das plantas de girassol (Figura 3).

Figura 3: Estágios de desenvolvimento 1 ao 5 da inflorescência das plantas de girassol.



Fonte: De autoria própria.

Os estágios foram classificados como: estágio 1 - caracterizado pelo aparecimento do botão floral com diâmetro entre 1 e 2 cm. Estágio 2 – botão floral com diâmetro entre 3 e 5 cm, ainda sem visualização da coloração das pétalas. Estágio 3 - aparecimento da coloração das pétalas. Estágio 4 - abertura de aproximadamente 50% das pétalas das flores do raio do girassol. Estágio 5 – Abertura completa das flores do raio, conferindo ao capítulo um aspecto plano, enquanto as flores do disco ainda estão fechadas.

### 3.4. Análise estatística

Os dados foram avaliados por meio da análise de variância e as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Para comparar as médias dos tratamentos com a do controle ou testemunha, utilizou-se o teste de Dunnett, adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

## 4. RESULTADOS

Houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade dos tratamentos para as características: número de folhas, diâmetro da planta, diâmetro da haste e altura da planta (Tabela 1).

Tabela 1: Resumo da ANOVA de número de folhas, diâmetro da planta, diâmetro da haste e altura de planta para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios			
		Número de folhas	Diâmetro da planta	Diâmetro da haste	Altura de planta
Tratamentos	3	18,66 **	103,93 **	0,66 **	609,52 **
Resíduo	62	1,18	16,94	0,13	38,43
Coefficiente de Variação(%)		4,68	12,56	7,58	14,46

\*\* - F significativo a 1%

A suplementação de luz do tipo LED aumentou o número de folhas das plantas de girassol para os tratamentos que receberam mais de 12 horas de fotoperíodo, sem diferenças entre si (Tabela 2). Os maiores valores médios de número folhas foram observados no tratamento que recebeu 12 horas de luz suplementar durante a noite (26,94) e 24 horas de iluminação suplementar (24,46) e diferem do controle ao nível de 5% de probabilidade. O oferecimento de iluminação suplementar do tipo LED aumentou o diâmetro da planta apenas para o tratamento que recebeu 12 horas de iluminação suplementar a noite. A maior média de diâmetro da planta (36,25 cm) se diferiu do controle ao nível de 5% de probabilidade. O diâmetro da haste e a altura de planta foram maiores, diferentes do controle e sem diferenças entre si, para todos os tratamentos.

Tabela 2: Valores médios de número de folhas, diâmetro da planta, diâmetro da haste e altura de planta dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

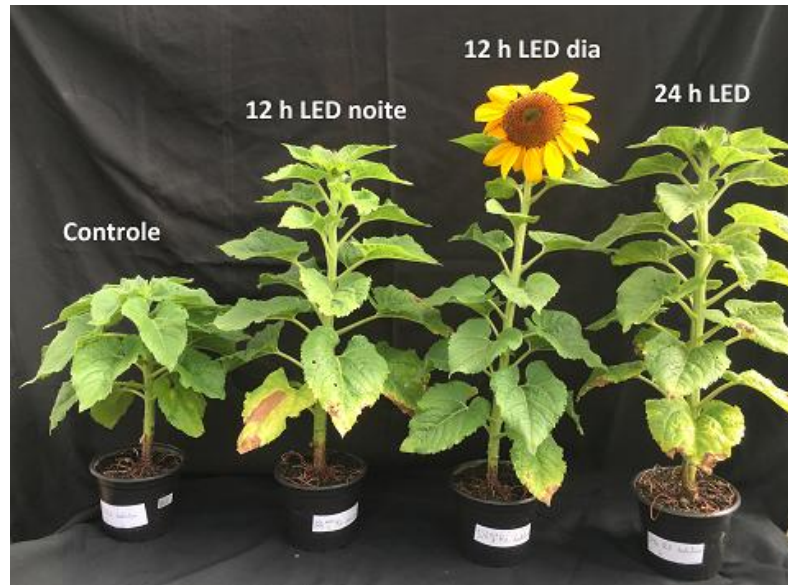
Tratamentos	Número de folhas	Diâmetro da planta (cm)	Diâmetro da haste (cm)	Altura de planta (cm)
0h	19,11 b	31,60 b	1,23 b	34,60 b
12h Dia	23,00 b *	30,65 b	1,55 a *	46,55 a *
12h Noite	26,94 a *	36,25 a *	1,63 a *	47,69 a *
24h	24,56 a *	31,85 b	1,63 a *	43,86 a *

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de TUKEY.

As médias com asterisco na coluna diferem da testemunha ou controle ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de DUNNETT.

Plantas de girassol, sob suplementação de luz do tipo LED, tiveram maior altura (Figura 4).

Figura 4: Efeito da suplementação de luz do tipo LED no crescimento de plantas de girassol (*Helianthus annuus*).



Fonte: De autoria própria.

Houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade dos tratamentos para as características: massa fresca das folhas, massa fresca da inflorescência e massa fresca do caule (Tabela 3).

Tabela 3: Resumo da ANOVA de massa fresca das folhas, massa fresca da inflorescência e massa fresca do caule para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios		
		Massa fresca das folhas	Massa fresca da inflorescência	Massa fresca do caule
Tratamentos	3	936,92**	6712,343**	2211,14**
Resíduo	29	141,94	159,81	274,72
Coefficiente de Variação(%)		19,91	25,17	25,25

\*\* - F significativo a 1%

A massa fresca das folhas, foi superior, diferente do controle e sem diferenças estatísticas entre si, apenas para os tratamentos que receberam mais de 12 horas de fotoperíodo (Tabela 4). Os maiores valores médios de massa fresca das folhas foram observados no tratamento 12 horas de iluminação suplementar durante a noite (69,52 g) e 24 horas de iluminação suplementar (66,65 g). A massa fresca da inflorescência foi maior e diferente do controle apenas para o tratamento que recebeu até 12 horas de fotoperíodo. O maior valor médio de massa fresca da inflorescência (98,99 g) foi observado no tratamento que recebeu 12 horas de iluminação suplementar do tipo LED durante o dia. A massa fresca do caule foi superior ao controle em apenas um dos tratamentos que receberam mais de 12 horas de fotoperíodo. O

maior valor médio de massa fresca do caule (86,20 g) foi observado no tratamento que recebeu 12 horas de luz suplementar durante a noite.

Tabela 4: Valores médios de massa fresca das folhas, massa fresca da inflorescência e massa fresca do caule dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

Tratamentos	Massa fresca das folhas (g)	Massa fresca da inflorescência (g)	Massa fresca do caule (g)
0h	48,07 b	29,90 c	45,56 b
12h Dia	52,71 ab	98,99 a *	55,89 b
12h Noite	69,52 a *	35,05 c	86,20 a *
24h	66,65 a *	53,15 b *	65,18 ab

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de TUKEY.

As médias com asterisco na coluna diferem da testemunha ou controle ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de DUNNETT.

Houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade dos tratamentos para as características: massa seca da inflorescência e massa seca do caule (Tabela 5).

Tabela 5: Resumo da ANOVA de massa seca das folhas, massa seca da inflorescência e massa seca do caule para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios		
		Massa seca das folhas	Massa seca da inflorescência	Massa seca do caule
Tratamentos	3	11,86 <sup>NS</sup>	86,01**	14,72**
Resíduo	29	6,48	4,09	0,84
Coeficiente de Variação(%)		27,41	30,44	13,73

\*\* - F significativo a 1%

NS – F não significativo a 5%

A suplementação de luz do tipo LED aumentou a massa seca das folhas para todos os tratamentos, não diferindo entre si (Tabela 6). A massa seca da inflorescência foi maior e se diferiu do controle apenas para o tratamento que recebeu até 12 horas de fotoperíodo. O maior valor médio de massa seca da inflorescência (12,22 g) foi observado no tratamento que recebeu 12 horas de suplementação do tipo LED durante o dia. O oferecimento de iluminação suplementar do tipo LED foi maior e diferente do controle apenas para um dos tratamentos que receberam mais de 12 horas de fotoperíodo. O maior valor médio de massa seca do caule (8,09 g) foi observado no tratamento que recebeu 12 horas de iluminação suplementar durante a noite.

Tabela 6: Valores médios de massa seca das folhas, massa seca da inflorescência e massa seca do caule dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

Tratamentos	Massa seca das folhas (g)	Massa seca da inflorescência (g)	Massa seca do caule (g)
0h	7,43 a	4,67 b	5,10 c
12h Dia	8,82 a	12,22 a *	6,22 bc *
12h Noite	10,19 a	4,64 b	8,09 a *
24h	10,09 a	6,88 b *	7,18 ab *

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de TUKEY.

As médias com asterisco na coluna diferem da testemunha ou controle ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de DUNNETT.

Houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade dos tratamentos apenas para índices de clorofila b (Tabela 7).

Tabela 7: Resumo da ANOVA dos índices Clorofila a, clorofila b e clorofila total para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios		
		Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
Tratamentos	3	58,26 <sup>NS</sup>	14,20 <sup>**</sup>	129,13 <sup>NS</sup>
Resíduo	61	39,93	1,70	54,17
Coefficiente de Variação(%)		19,10	21,37	18,78

\*\* - F significativo a 1%

NS – F não significativo a 5%

A suplementação de luz do tipo LED para o índice de clorofila a e clorofila total não ocasionou diferenças entre os tratamentos (Tabela 8). Os tratamentos que receberam mais de 12 horas de fotoperíodo tiveram menores valores do índice de clorofila b, se diferindo do controle. Os menores valores de clorofila b foram observados no tratamento que recebeu 12 horas de iluminação suplementar durante a noite (5,50 ICF) e 24 horas de suplementação (5,28 ICF).

Tabela 8: Valores médios dos índices de clorofila a, clorofila b e clorofila total dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

Tratamentos	Clorofila a (ICF)	Clorofila b (ICF)	Clorofila total (ICF)
0h	35,14 a	7,21 a	42,36 a
12h Dia	34,17 a	6,52 a	40,70 a
12h Noite	32,18 a	5,50 b *	37,69 a
24h	31,10 a	5,28 b *	36,38 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de TUKEY.

As médias com asterisco na coluna diferem da testemunha ou controle ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de DUNNETT.

Houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade dos tratamentos apenas para a área foliar (Tabela 9).

Tabela 9: Resumo da ANOVA de área foliar para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Quadrado Médio
Área Foliar		
Tratamentos	3	137764,90**
Resíduo	29	34243,55
Coeficiente de Variação(%)		13,26

\*\* - F significativo a 1%

A iluminação suplementar do tipo LED na cultura do girassol, para a área foliar, não apresentou nenhum tratamento diferente do controle (Tabela 10). O tratamento de 12 horas de iluminação suplementar a noite apresentou área foliar superior ao tratamento de 24 horas de iluminação suplementar.

Tabela 10: Valores médios de área foliar dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

Tratamentos	Área Foliar (cm <sup>2</sup> )
0h	1266,21 ab
12h Dia	1467,16 ab
12h Noite	1523,50 a
24h	1280,34 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de TUKEY.

Houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade dos tratamentos para as características: número de dias para atingir o estágio 5 e diâmetro da inflorescência no estágio 5 (Tabela 11).

Tabela 11: Resumo da ANOVA de número de dias para atingir o estágio 5, vida útil da inflorescência e diâmetro da inflorescência para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios		
		Número de dias para atingir o estágio 5	Vida útil da inflorescência	Diâmetro da inflorescência no estágio 5
Tratamentos	3	780,67**	12,96 <sup>NS</sup>	68,88**
Resíduo	29	79,24	4,84	1,02
Coeficiente de Variação(%)		9,32	23,90	7,34

\*\* - F significativo a 1%

NS – F não significativo a 5%

A iluminação suplementar do tipo LED encurtou os dias para a inflorescência atingir o estágio 5 e o aumentou o diâmetro da inflorescência apenas no tratamento que recebeu até 12 horas de fotoperíodo (Tabela 12). O menor valor médio do número de dias para atingir o estágio 5 (78 dias) e o maior diâmetro médio da inflorescência (16,78 cm) foram observados no tratamento que recebeu 12 horas de iluminação suplementar durante o dia. Para vida útil da inflorescência, nenhum tratamento se diferiu do controle.

Tabela 12: Valores médios do número de dias para atingir o estágio 5, vida útil da inflorescência e diâmetro da inflorescência dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

Tratamentos	Número de dias para atingir o estágio 5	Vida útil da inflorescência	Diâmetro da inflorescência no estágio 5 (cm)
0h	101 b	7,44 a	9,9 c
12h Dia	78 a *	9,83 a	16,78 a *
12h Noite	100,44 b	9,77 a	14,85 b *
24h	96,66 b	10 a	14,68 b *

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de TUKEY.

As médias com asterisco na coluna diferem da testemunha ou controle ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de DUNNETT.

Houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade dos tratamentos para as características: fotossíntese líquida, condutância estomática e eficiência do uso da água (Tabela 13).

Tabela 13: Resumo da ANOVA de A= taxa de fotossíntese líquida,  $g_s$ = condutância estomática,  $C_i$ = concentração de carbono interno, WUE= eficiência do uso da água e ETR= taxa de transporte de elétrons para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios				
		A	$g_s$	$C_i$	WUE	ETR
Tratamentos	3	141,76**	0,78**	1918,31 <sup>NS</sup>	507,64**	498,34 <sup>NS</sup>
Resíduo	29	10,67	0,11	932,96	83,94	194,32
Coefficiente de Variação(%)		10,81	30,24	9,29	28,93	6,81

\*\* - F significativo a 1%

NS – F não significativo a 5%

A taxa de fotossíntese líquida foi maior no tratamento controle que nos demais. Não houve diferenças entre os tratamentos para a concentração de carbono interno e taxa de transporte de elétrons. Os maiores valores de eficiência do uso da água foram encontrados nos tratamentos que receberam mais de 12 horas de fotoperíodo (Tabela 14).

Tabela 14: Valores médios de A= taxa de fotossíntese líquida,  $g_s$ = condutância estomática,  $C_i$ = concentração de carbono interno, WUE= eficiência do uso da água e ETR= taxa de transporte de elétrons dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

Tratamentos	A ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$g_s$ (mol H <sub>2</sub> O $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$C_i$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ar)	WUE ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}$ )	ETR ( $\mu\text{mol e}^- \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
0h	35,67 a	1,43 a	342,08 a	24,54 b	211,14 a
12h Dia	30,83 b *	1,36 a	344,08 a	28,67 b	212,01 a
12h Noite	27,31 b *	1,04 ab *	320,35 a	42,47 a *	196,77 a
24h	27,24 b *	0,77 b *	313,28 a	42,58 a*	200,05 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de TUKEY

As médias com asterisco na coluna diferem da testemunha ou controle ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de DUNNETT

Houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade dos tratamentos apenas para a taxa de respiração (Tabela 15).

Tabela 15: Resumo da ANOVA de E= taxa de transpiração e RE= taxa de respiração para o experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios	
		E	$R_E$
Tratamentos	3	8,45 <sup>NS</sup>	0,36 <sup>**</sup>
Resíduo	29	3,85	0,50
Coeficiente de Variação(%)		25,15	15,41

\*\* - F significativo a 1%

NS – F não significativo a 5%

A suplementação de luz LED no girassol não causou diferenças entre os tratamentos para a taxa de transpiração. Já para a taxa de respiração, os tratamentos 12 horas de suplementação durante a noite e 24 horas de suplementação tiveram os maiores valores e se diferiram do controle (Tabela 16).

Tabela 16: Valores médios de E= taxa de transpiração e RE= taxa de respiração dos tratamentos do experimento de iluminação suplementar do tipo LED no girassol.

Tratamentos	$E$ (mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	$R_E$ (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
0h	8,99 a	1,18 b
12h Dia	8,29 a	1,45 ab *
12h Noite	7,24 a	1,52 a *
24h	6,82 a	1,66 a *

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de TUKEY

As médias com asterisco na coluna diferem da testemunha ou controle ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de DUNNETT

## 5. DISCUSSÃO

A alta temperatura atingida dentro da casa de vegetação (36,2 °C) pode ter contribuído para potencializar o estresse oxidativo das plantas. O girassol, por ser pertencente ao grupo de plantas C3, tem sua eficiência fotossintética comprometida em temperaturas mais altas devido à fotorrespiração (BRAGA et al., 2021). Esses efeitos foram observados em maior escala pelo tratamento que recebeu 24 horas de suplementação de luz, o qual mostrou redução do número de folhas, diâmetro e altura da planta, índices de clorofila, massa fresca e seca de folhas e caule e a área foliar, apesar de não terem sido diferentes entre si; essa tendência pode ser percebida para todas as variáveis citadas. Isso pode estar relacionado com o excesso de energia que os girassóis do tratamento de 24 horas de suplementação estavam expostos. Essas plantas não foram submetidas à noite e, conseqüentemente, ao escuro, estavam sempre com a maquinaria fotossintética funcionando em seu máximo, acumulando produtos finais da rota da fotossíntese. Isso faz com que as espécies reativas de oxigênio (EROS) sejam formadas, o que leva ao dano oxidativo e a redução de suas características (BRAGA et al., 2021).

O aumento na altura das plantas de girassol, quando cultivadas sob suplementação de luz LED, também foi alcançada em estudos anteriores (HE et al., 2024) (SCHWEND; PRUCKER; MEMPEL, 2015). A adição de luz vermelha distante promoveu o alongamento do caule em outras espécies ornamentais, como *Petunia hybrida* e rosa anã (KONG et al., 2018) (MATYSIAK, 2021). Alguns autores afirmam que esse efeito é dependente da temperatura. Em temperaturas inferiores a 20 °C não houve incrementos na altura dos girassóis, mesmo com suplementação na faixa do vermelho e vermelho distante (KUREPIN et al., 2011). A adição de radiação no comprimento de onda vermelho-distante aos comprimentos de onda vermelho e

azul, aumenta a altura das plantas, isso porque as folhas verdes absorvem a maior parte da radiação fotossinteticamente ativa (400 a 700 nm), mas refletem ou transmitem a maior parte da radiação vermelho-distante (700 a 780 nm), criando assim uma baixa razão vermelho/vermelho-distante sob um dossel (PARK; RUNKLE, 2017). Com a elevação da temperatura, o efeito da relação de luz vermelha/vermelha distante diminui e a planta cresce em altura, como pode ser visto no presente estudo onde as plantas de girassol que receberam suplementação de luz LED tiveram incrementos na altura, em comparação ao controle sem suplementação. Alguns autores também atribuem esse crescimento devido a presença da radiação na faixa do azul (BERGSTRAND et al., 2014).

A menor capacidade fotossintética das folhas de girassol em nosso estudo não é surpreendente, pois foram cultivadas recebendo um incremento de luz vermelha, que é geralmente considerada a mais eficaz para os sistemas fotossintéticos das plantas, o que reduz o incentivo em otimizar o aparato fotossintético quando essa luz é fornecida. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos anteriores envolvendo a suplementação luminosa no girassol, com intensidade de  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e fotoperíodo de 18 horas (BERGSTRAND et al., 2014). Isso poderia explicar os menores valores na taxa de fotossíntese líquida encontrados para todos os tratamentos em comparação ao controle, que incrementou seu sistema fotossintético já que não recebeu suplementação de luz. As elevadas temperaturas atingidas dentro da casa de vegetação também podem ter contribuído para essa resposta, como visto, o girassol é uma planta C3 que realiza fotorrespiração em temperaturas altas, esse efeito é potencializado quanto mais energia (luz suplementar) for oferecido.

Em trabalhos anteriores, foi observado que, ao submeter as pétalas amarelas de capuchinha à iluminação LED suplementar noturna de intensidade  $71,95 \pm 3,70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e fotoperíodos de 0, 2, 4 e 6 horas, havia aumento no conteúdo de antioxidante em relação à não suplementação luminosa (NASCIMENTO, 2019). Isto permite justificar que a iluminação suplementar noturna do tipo LED gera condição de estresse às plantas e, para o presente estudo, pode estar relacionado com o menor incremento das características da inflorescência para os tratamentos que receberam iluminação LED no período da noite. O diâmetro das flores de girassol foi incrementado em trabalhos anteriores que ofereceram suplementação com LED diurna envolvendo a luz vermelha, azul e vermelha-distante (HE et al., 2024), como ocorrido no presente trabalho para o tratamento que recebeu 12 horas de iluminação suplementar durante o dia.

Os tratamentos que receberam suplementação de luz durante a noite resultaram em maior acúmulo de biomassa fresca e seca no caule e nas folhas. Já no tratamento que recebeu

suplementação diurna (que favorece as inflorescências) houve uma redistribuição de biomassa para suportar a floração e, menor acúmulo de biomassa fresca e seca nas folhas e caule. Plantas de girassol expostas à luz vermelha, com intensidade de  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e fotoperíodo de 18 horas, acumularam mais biomassa fresca e seca, quando comparadas a outros comprimentos de onda (BERGSTRAND et al., 2014). Em outro trabalho, os autores verificaram que o uso de iluminação LED com tratamentos de intensidade de  $185 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e proporções de comprimentos de onda 87 % de vermelho e 13% de azul, nas espécies *Geranium*, *Cosmos caudatus*, *Catharanthus roseus*, *Impatiens Walleriana* e *Petunia bonjardinensis* apresentaram maiores valores de número de folhas e massa seca da parte aérea em relação à não suplementação luminosa (RANDALL; LOPEZ, 2015), conforme também verificado em nosso trabalho. O número de folhas de girassol também foi aumentado em trabalhos anteriores envolvendo a tecnologia de suplementação de luz, com LEDs que emitiram combinação de luz vermelha, azul e vermelho-distante, com intensidade de  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (HE et al., 2024).

Sob iluminação suplementar LED, envolvendo diferentes proporções combinadas de luz na faixa do vermelho, azul e vermelho-distante, também não foram encontradas diferenças na área foliar das plantas de girassol (HE et al., 2024) (SCHWEND; PRUCKER; MEMPEL, 2015). Esses resultados estão de acordo com o presente estudo, exceto pelo tratamento de 24 horas de fotoperíodo, provavelmente por estar sob estresse oxidativo severo. Alguns autores atribuem esse efeito a presença da luz na faixa do azul, que inibe a expansão foliar mesmo em baixas proporções (WOLLAEGER; RUNKLE, 2014).

O diâmetro do caule também foi aumentado, em trabalho prévios, em plantas de petúnia e gerânio, submetidos à suplementação luminosa em cinco faixas de cores, na intensidade de  $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e fotoperíodo de 8 horas (BERGSTRAND et al., 2014).

O ciclo do girassol variedade Vincent Choice é de, normalmente, 60 dias. Observamos aumento do ciclo para todos os tratamentos, podendo ser atribuído pela adição do Paclobutrazol e/ou pelo experimento ter sido conduzido no final da estação de outono e começo do inverno.

A condutância estomática do controle foi a maior, indicando maiores trocas gasosas, entrada de  $\text{CO}_2$  e saída de vapor d'água, o que está de acordo com as maiores taxas fotossintéticas encontradas nessas plantas. Para a condutância estomática não foi encontrado diferenças entre o controle e o tratamento de suplementação diurna com LED; a abertura estomática foi mantida em níveis adequados durante o oferecimento suplementar de luz LED diurna. Houve uma queda nessa variável para o tratamento que recebeu 12 horas de suplementação noturna,  $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de intensidade pode ter sido insuficiente para causar uma abertura estomática parecida com a que ocorre na luz solar. Já para o tratamento que

recebeu 24 horas de suplementação, os menores valores refletem na resposta adaptativa das plantas frente ao estresse oxidativo que estavam enfrentando. Não houve diferenças entre os tratamentos na concentração de carbono interno, para o girassol variedade Vicent Choice no presente estudo, considerando que a suplementação LED não incrementou a concentração de carbono interno. As menores condutâncias estomáticas nos tratamentos 12 horas de suplementação a noite e 24 horas de suplementação levaram a uma limitação na entrada de CO<sub>2</sub> percebida nesses tratamentos. A suplementação por 12 horas durante o dia com luz do tipo LED incrementou a conservação da água sem reduzir drasticamente a fotossíntese. Já para o tratamento de 12 horas de suplementação noturna e 24 horas de suplementação, foram encontrados os maiores valores nessa variável, o que indica uma estratégia das plantas de economizar água, muito devido a menor abertura estomática, o que, no entanto, leva a menores incrementos na concentração de carbono interno. A alta taxa de transporte de elétrons, encontrada no controle e no tratamento 12 horas de suplementação durante o dia, demonstra uma alta eficiência do sistema fotossintético. Para 24 horas de suplementação e 12 horas de suplementação a noite, os menores valores indicam que o transporte de elétrons foi reduzido devido a adaptação frente ao estresse causado pela luz contínua.

## 6. CONCLUSÃO

A suplementação de luz LED de 06:00 até 18:00 favoreceu a redistribuição de biomassa para a floração, enquanto os tratamentos de 18:00 até 06:00 e 24 horas resultaram em maior acúmulo de biomassa fresca e seca nas folhas e nos caules. A tecnologia LED contribuiu para o aumento na altura das plantas.

Os achados deste estudo reforçam a importância da escolha do regime de suplementação luminosa em girassóis, uma vez que as condições de luz influenciam na partição do acúmulo de biomassa ou para as folhas e caule ou para as inflorescências.

## 7. REFERÊNCIAS

- ALSANIUS, B. W., BERGSTRAND, K. J., HARTMANN, R., GHARAIE, S., WOHANKA, W., DORAIS, M., & ROSBERG, A. K. Ornamental flowers in new light: Artificial lighting shapes the microbial phyllosphere community structure of greenhouse grown sunflowers (*Helianthus annuus L.*). **Scientia Horticulturae**, v. 216, p. 234-247, 2017.
- BAI, J., PIAO, X., WANG, Y., CHENG, X., FENG, M., WANG, Y., FU, R., ZHAO, J., YU, S., LI, Z., WANG, L., HUANG, J., & WANG, J. Seven undescribed compounds from the flower heads of *Helianthus annuus L.* **Phytochemistry**, v. 211, p. 113712, 2023.

BANTIS, F., SMIRNAKOU, S., OUZOUNIS, T., KOUKOUNARAS, A., NTAGKAS, N., & RADOGLIOU, K. Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). **Scientia horticulturae**, v. 235, p. 437-451, 2018.

BERGSTRAND, K. J.; ASP, H.; SCHÜSSLER, H. K. Development and acclimatisation of horticultural plants subjected to narrow-band lighting. **European Journal of Horticultural Science**, v. 79, p. 45-51, 2014.

BLACKMAN, B. K. Interacting duplications, fluctuating selection, and convergence: the complex dynamics of flowering time evolution during sunflower domestication. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 2, p. 421–431, 2013.

BRAGA, FABÍOLA MENDES; FERREIRA, EVANDER ALVES; CABRAL, CÁSSIA MICHELLE; FREITAS, IGOR COSTA DE; MACIEL, JOSIANE COSTA; FREITAS, MARIA STÉFANY SILVEIRA; ASPIAZU, IGNÁCIO; SANTOS, JOSÉ BARBOSA DOS; FERNANDES, LUIZ ARNALDO; FRAZÃO, LEIDIVAN DE ALMEIDA; SAMPAIO, REGYNALDO ARRUDA. Revisão: Crescimento de plantas C3 e C4 em resposta a diferentes concentrações de CO<sub>2</sub>. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e47101320304, 2021.

BRAINER, M. S. D. C. P. Quando nem tudo são flores, a floricultura pode ser uma alternativa. 2018.

BROOKS, C. J., ATAMIAN, H. S., & HARMER, S. L. (2023). Multiple light signaling pathways control solar tracking in sunflowers. **PLoS Biology**, v. 21, n. 10, e3002344, 2023.

BURGIE, E. S., BUSSELL, A. N., WALKER, J. M., DUBIEL, K., & VIERSTRA, R. D. Crystal structure of the photosensing module from a red/far-red light-absorbing plant phytochrome. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 28, p. 10179-10184, 2014.

CASTRO, C. de; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de (ed.). Girassol no Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p. 163-218.

CHOONG, T. W.; HE, J.; QIN, L.; LEE, S. K. Quality of supplementary LED lighting effects on growth and photosynthesis of two different *Lactuca* recombinant inbred lines (RILs) grown in a tropical greenhouse. **Photosynthetica**, v. 56, n. 4, p. 1278-1286, 2018.

CRAIG, D. S., & RUNKLE, E. S. A moderate to high red to far-red light ratio from light-emitting diodes controls flowering of short-day plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 138, n. 3, p. 167-172, 2013.

CVEJIĆ, S., JOCIĆ, S., & MLADENOVIĆ, E. Inheritance of floral colour and type in four new inbred lines of ornamental sunflower (*Helianthus annuus* L.). **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 91, n. 1, p. 30-35, 2016.

DALCHIAVON, F. C., MALACARNE, B. J., & DE CARVALHO, C. G. Características agronômicas de genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.) em segunda safra no Chapadão do Parecis–MT. **Revista de ciências agrárias**, v. 39, n. 1, p. 178-186, 2016.

DE ALMEIDA DANTAS, L. V., SILVA, E. N., DA SILVA, D. K. A., BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z., & YANO-MELO, A. M. Impact of long-term application of paclobutrazol in communities of arbuscular mycorrhizal fungi and their efficiency in the development of *Helianthus annuus* L. **Applied Soil Ecology**, v. 191, p. 105029, 2023.

DE BORBA, J. C.; DA SILVA TISCOSKI, N.; NETO, V. S.; RAMOS, S. F.; GRUBER, V.; ESTEVES, P. C. L.; DA MOTA ALVES, J. B. Estufas inteligentes e eficientes energeticamente: uma análise descritiva da literatura. **Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial**, v. 15, n. 1, 2022. ISSN 1983-1838.

DOS SANTOS, M. I. G., DOS SANTOS LIRA, T. P., DA SILVA, L. E. B., DOS SANTOS, R. L. V., DA SILVA JUNIOR, I. P., & BRITO, D. R. Cortes histológicas dos órgãos vegetativos do girassol (*Helianthus annuus* L.): uma contribuição para o ensino da botânica. **Revista Ambientale**, v. 13, n. 1, p. 38-50, 2021.

GARAYALDE, A. F., PRESOTTO, A., CARRERA, A., POVERENE, M., & CANTAMUTTO, M. Characterization of a new male sterility source identified in an invasive biotype of *Helianthus annuus* (L.). **Euphytica**, v. 206, p. 579-595, 2015.

GAZZOLA, A., FERREIRA JUNIOR, C. T. G., CUNHA, D. A., BORTOLINI, E., PAIAO, G. D., PRIMIANO, I. V., PESTANA, J., D'ANDRÉA, M. S. C & OLIVEIRA, M. S. A cultura do girassol. Piracicaba-SP. Junho de, 2012. Disponível em: <[https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/culturas\\_anuais/livros/A%20CULTURA%20DO%20GIRASSOL.pdf](https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/culturas_anuais/livros/A%20CULTURA%20DO%20GIRASSOL.pdf)>. Acesso em: 25 de abril de 2024.

GUPTA, S. K. (Ed.). **Technological innovations in major world oil crops, volume 1: breeding**. Springer New York, 2012.

HE, J.; QIN, L.; CHONG, E. L.; CHOONG, T. W.; LEE, S. K. Plant growth and photosynthetic characteristics of *Mesembryanthemum crystallinum* grown aeroponically under different blue-and red-LEDs. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 361, 2017.

HE, W., CHAI, Q., ZHAO, C., YIN, W., FAN, H., YU, A., FAN, Z., HU, F., SUN, Y., & WANG, F. Response of blue light in different proportions on the growth & flowering in sunflower. **Scientia Horticulturae**, v. 338, p. 113689, 2024.

HENRY, L. P.; WATSON, R. H.; BLACKMAN, B. K. Transitions in photoperiodic flowering are common and involve few loci in wild sunflowers (*Helianthus*; Asteraceae). **American Journal of Botany**, v. 101, n. 10, p. 1748-1758, 2014.

INMET – National Institute of Meteorology. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>> Acesso em: 05 dez 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **O mercado de flores no Brasil, 2024**. Disponível em: <[https://www.ibraflor.com.br/\\_files/ugd/b3d028\\_2ca7dd85f28f4add9c4eda570adc369f.pdf](https://www.ibraflor.com.br/_files/ugd/b3d028_2ca7dd85f28f4add9c4eda570adc369f.pdf)> Acesso em: 28 nov, 2024.

- KONG, Y.; STASIAK, M.; DIXON, M. A.; ZHENG, Y. Blue light associated with low phytochrome activity can promote elongation growth as shade-avoidance response: A comparison with red light in four bedding plant species. **Environmental and Experimental Botany**, v. 155, p. 345-359, 2018.
- KOUTROUBAS, S. D., & DAMALAS, C. A. Sunflower response to repeated foliar applications of paclobutrazol. **Planta Daninha**, v. 33, p. 129-135, 2015.
- KUREPIN, L. V.; WALTON, L. J.; PHARIS, R. P.; NEIL EMERY, R. J.; REID, D. M. Interactions of temperature and light quality on phytohormone-mediated elongation of *Helianthus annuus* hypocotyls. **Plant Growth Regulation**, v. 64, p. 147-154, 2011.
- KUZICHEV, O. B., & KUZICHEVA, N. Y. Innovative processes in floriculture: current status, problems and prospects. **Indian Journal of Science and Technology**, 2016.
- LIANG, Q., CUI, J., LI, H., LIU, J., & ZHAO, G. Florets of sunflower (*Helianthus annuus* L.): Potential new sources of dietary fiber and phenolic acids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 14, p. 3435-3442, 2013.
- MATYSIAK, B. The effect of supplementary LED lighting on the morphological and physiological traits of Miniature *Rosa* × *hybrida* ‘Aga’ and the development of Powdery Mildew (*Podosphaera pannosa*) under greenhouse conditions. **Plants**, v. 10, n. 2, p. 417, 2021.
- MELLIT, A.; BENGHANEM, M.; HERRAK, O.; MESSALAOUI, A. Design of a novel remote monitoring system for smart greenhouses using the internet of things and deep convolutional neural networks. **Energies**, v. 14, n. 16, p. 5045, 2021.
- NAMBUTHIRI, S.; FULCHER, A.; KOESER, A. K.; GENEVE, R.; NIU, G. Moving toward sustainability with alternative containers for greenhouse and nursery crop production: a review and research update. **HortTechnology**, v. 25, n. 1, p. 8-16, 2015.
- NASCIMENTO, Amanda Lais Alves Almeida. Efeito de diferentes tempos de exposição à luz Led vermelha em compostos bioativos de flores de capuchinha (*Tropaeolum majus* L.). 2019. 55 p. (Tese de Doutorado). UFV, Viçosa.
- NELSON, J. A., & BUGBEE, B. Economic analysis of greenhouse lighting: light emitting diodes vs. high intensity discharge fixtures. **PLoS One**, v. 9, n. 6, p. e99010, 2014.
- NUNES, R., ECCO, M., & DA COSTA FIGUEIREDO, L. H. Cultivo do girassol submetido a aplicação de reguladores de crescimento. **Revista Sítio Novo**, v. 6, n. 2, p. 42-54, 2022.
- OWEN, W. G., MENG, Q., & LOPEZ, R. G. Promotion of flowering from far-red radiation depends on the photosynthetic daily light integral. **HortScience**, v. 53, n. 4, p. 465-471, 2018.
- PARK, Y.; RUNKLE, E. S. Far-red radiation promotes growth of seedlings by increasing leaf expansion and whole-plant net assimilation. **Environmental and Experimental Botany**, v. 136, p. 41-49, 2017.

PORFIRIO, C.; MORAES, C.; JUNIOR, A. Influência da iluminação suplementar de diodo emissor de luz (LED) em cultivares de alface crespa vermelha e alface americana. **Tuiuti: Ciência e Cultura**, v. 10, n. 68, p. 109-125, 6 maio 2024.

RABARA, R. C., BEHRMAN, G., TIMBOL, T., & RUSHTON, P. J. Effect of spectral quality of monochromatic LED lights on the growth of artichoke seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 229938, 2017.

RANDALL, W. C.; LOPEZ, R. G. Comparison of bedding plant seedlings grown under sole-source light-emitting diodes (LEDs) and greenhouse supplemental lighting from LEDs and high-pressure sodium lamps. **HortScience**, v. 50, n. 5, p. 705-713, 2015.

SAKATA. *Girassol Vincent*. Sakata Seed Corporation. Disponível em: <<https://www.sakataornamentals.eu/product/vincent-sunflowers/>>. Acesso em: 03 dez. 2024.

SANTOS FILHO, F. B., SILVA, T. I., DIAS, M. G., ALVES, A. C. L., & GROSSI, J. A. S. Paclobutrazol reduz o crescimento e aumenta os índices de clorofila e trocas gasosas de manjeriço (*Ocimum basilicum*). **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, p. e262364, 2022.  
SARKAR, J. Effect of paclobutrazol on physiology, growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Plant Physiology Reports**, p. 1-7, 2023.

SCHAFER, G.; LERNER, B. L. Physical and chemical characteristics and analysis of plant substrate. **Ornamental Horticulture**, v. 28, p. 181-192, 2022.

SCHAFER, Gilmar; LERNER, Betina Luíza. Physical and chemical characteristics and analysis of plant substrate. **Ornamental Horticulture**, v. 28, p. 181-192, 2022.

SCHWEND, T.; PRUCKER, D.; MEMPEL, H. Red light promotes compact growth of sunflowers. **European Journal of Horticultural Science**, v. 80, n. 2, p. 56-61, 2015.

SEEDAPALEE, T., INKHAM, C., RUAMRUNGSRI, S., JOGLOY, S., & HONGPAKDEE, P. Physiological responses of sun choke's seedlings under different wavelength LED lighting. **Scientia Horticulturae**, v. 282, p. 110029, 2021.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., & MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

UNGARO, M. R. G.; CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B.; BARNI, N. A.; RAMOS, N. P.; SENTELHAS, P. C. Girassol. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (ed.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 205-221.

VISHWAKARMA, A., SAHU, A., SHEIKH, N., PAYASI, P., RAJPUT, S. K., & SRIVASTAVA, L. IoT based Greenhouse monitoring and controlling system. In: **2020 IEEE Students Conference on Engineering & Systems (SCES)**. IEEE, 2020. p. 1-6.

WANDERLEY, C. D. S., FARIA, R. T. D., & REZENDE, R. Crescimento de girassol como flor em vaso em função de doses de paclobutrazol. **Revista Ceres**, v. 61, p. 35-41, 2014.

WANI, M. A., NAZKI, I. T., DIN, A., IQBAL, S., WANI, S. A., KHAN, F. U., & NEELOFAR. Floriculture sustainability initiative: The dawn of new era. **Sustainable Agriculture Reviews** **27**, p. 91-127, 2018.

WOLLAEGER, H. M.; RUNKLE, E. S. Growth of impatiens, petunia, salvia, and tomato seedlings under blue, green, and red light-emitting diodes. **HortScience**, v. 49, n. 6, p. 734-740, 2014.