

**PATRICIA APARECIDA DE CARVALHO**

**SUPLEMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE LUZ NA CULTURA DO MILHO**

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

Orientador: João Carlos Cardoso Galvão

Coorientadores: Emerson Trogello

Orismário Lúcio Rodrigues

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2023**

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

T

C331s  
2023  
Carvalho, Patricia Aparecida de, 1994-  
Suplementação artificial de luz na cultura do milho /  
Patricia Aparecida de Carvalho. – Viçosa, MG, 2023.  
1 tese eletrônica (121 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: João Carlos Cardoso Galvão.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Agronomia, 2023.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.530>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Milho - Crescimento - Efeito da luz. 2. Fenologia  
vegetal. 3. Diodos emissores de luz. 4. Milho - Rendimento. 5.  
*Zea mays*. I. Galvão, João Carlos Cardoso, 1962-.  
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.  
III. Título.

CDD 22. ed. 633.15899


**PATRICIA APARECIDA DE CARVALHO**

**SUPLEMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE LUZ NA CULTURA DO MILHO**

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

APROVADA: 27 de junho de 2023.

Assentimento:

  
Patricia Aparecida de Carvalho  
Autora

  
João Carlos Cardoso Galvão  
Orientador

Dedico à minha avó Iraci (*in memoriam*),  
que compartilhou comigo a espera por  
este momento, mas partiu antes de  
presenciar a realização deste sonho,  
com amor e saudade eterna.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pois somente Ele esteve ao meu lado em todos os momentos, jamais me deixando cair. Agradeço pelo dom da vida, pelo espírito de luta e, acima de tudo, por me conceder sabedoria para cultivar o conhecimento.

Aos meus pais Sandra e João, que me concederam o direito à vida, pelo amor e educação que me foram dados. A eles agradeço por toda ajuda até mesmo na condução do experimento. Sem dúvida vocês são a minha maior fonte de inspiração e fazem de mim uma pessoa melhor a cada dia.

Aos meus irmãos, Francislene e Marco que me apoiaram e estiveram sempre disponíveis para me ajudar no que fosse preciso, inclusive em avaliações.

Ao Lucas pelo companheirismo e encher minha vida de amor, alegria e sonhos. Agradeço por ter sido sempre prestativo quando solicitei sua ajuda, até mesmo no manejo da cultura.

Ao meu orientador João Carlos pela confiança depositada em mim na realização deste trabalho. Pelo tempo dedicado quando necessário, pelo apoio tanto na aquisição do material, quanto nos lanches em dias de avaliações, além de todo o conhecimento compartilhado. Obrigada pelas palavras de esperança nos momentos mais difíceis e por ser orientador, amigo e um verdadeiro pai (pai João II) para seus orientados.

Aos meus coorientadores Emerson e Orismário que contribuíram para a realização deste trabalho, dando sugestões sobre o tema.

A todos os meus amigos, em especial, os “Orientados do João” (Dreice, Maria, Antônio Carlos, Maria José, Josiane, Betânia, Guilherme e Welber) que conviveram comigo durante este percurso, vivenciando as minhas alegrias, esforços, dificuldades e que se dispuseram a ajudar na instalação e condução do experimento.

Ao Victor Cieza, por sua importantíssima colaboração nas avaliações fisiológicas deste trabalho. Obrigada por todo o suporte e pela disposição em me auxiliar em todas as vezes que solicitei sua ajuda.

Ao professor Paulo Cecon pelas análises estatísticas dos dados e por tantas explicações tão detalhadas.

À banca examinadora, por ter aceito participar deste momento crucial e por ser a peça fundamental para conclusão desta etapa.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização da pós-

graduação. E à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

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

E a todos que contribuíram direta e indiretamente, meu muito obrigada!

*“Quando o mundo estiver unido na busca do conhecimento, e não mais lutando por dinheiro e poder, então nossa sociedade poderá enfim evoluir a um novo nível”.*

(Thomas Jefferson)

## RESUMO

CARVALHO, Patricia Aparecida de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2023. **Suplementação artificial de luz na cultura do milho**. Orientador: João Carlos Cardoso Galvão. Coorientadores: Emerson Trogello e Orismário Lúcio Rodrigues.

O milho (*Zea mays* L.) tem grande importância econômica, sendo usado principalmente como alimento humano, animal e matéria prima para a indústria. Nos sistemas de cultivo, muitos fatores ambientais prejudicam sua produtividade, sendo a luz um dos mais importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A suplementação com luz artificial fornece um fluxo de luz constante, que aumenta a qualidade e o rendimento de plantas, principalmente em cultivo protegido, em com reduzido ou sem acesso a luz natural. Em campo, essa tecnologia é recente e implementada em pivô central de irrigação. Nosso objetivo foi avaliar a influência da suplementação de luz artificial com LEDs, simulando a tecnologia em pivô central de irrigação, no desenvolvimento de plantas de milho na safra (verão) e na safrinha (verão/outono). Os experimentos foram realizados na Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada em Viçosa – MG. Foram realizados dois ciclos de avaliação: na safra (2021/2022) (sem luz suplementar, 20 segundos de luz suplementar por noite, 40 segundos de luz suplementar por noite, 80 segundos de luz suplementar por noite, 160 segundos de luz suplementar por noite e com luz suplementar a noite toda) e na safrinha (2022) (sem luz suplementar, 20 segundos de luz suplementar por noite, 40 segundos de luz suplementar por noite, 80 segundos de luz suplementar por noite, 160 segundos de luz suplementar por noite e 4 horas de luz suplementar por noite). Em ambos os ciclos de avaliação, foram realizadas análises morfológicas do milho (nos estádios vegetativos e reprodutivos) e análises dos componentes de produção e produtividade. Na safrinha acrescentaram as análises fisiológicas (nos estádios vegetativos e reprodutivos). A luz suplementar afetou o crescimento e desenvolvimento da cultura do milho. Na safra, o tratamento com luz suplementar a noite toda resultou em maior altura e comprimento de entrenós e menor matéria fresca e seca da parte reprodutiva. Ocorreu atraso do pendoamento nos tratamentos com 160 segundos e com luz suplementar a noite toda (safra) e 160 segundos de luz e 4 horas de luz por noite (safrinha). Na safra, não houve o florescimento feminino (emissão da espiguetta) com luz suplementar a noite toda e na safrinha houve um

atraso do florescimento no tratamento com 4 horas de luz suplementar por noite. Tais tratamentos afetaram negativamente os componentes de produção, reduzindo produtividade de grãos e número de espigas de milho verde, respectivamente. A variação nos tempos de suplementação luminosa pouco influenciou o desempenho fotossintético da cultura do milho. E, dentre os tempos de simulação do pivô, plantas cultivadas com 20 segundos de suplementação luminosa apresentaram estímulo favorável para a produção de milho, com tendência mais acentuada na morfologia das plantas. O tempo de suplementação luminosa acima de 160 segundos promove alterações nas características morfofisiológicas e nos componentes de produção do milho. A disposição das lâmpadas no pivô pode promover diferentes resultados na cultura, sendo que aquelas fixadas nas torres mais próximas da base, tendem a ser mais prejudiciais para a cultura do milho.

Palavras-chave: Crescimento. Fenologia. LEDs. Produtividade. *Zea mays* L.

## ABSTRACT

CARVALHO, Patricia Aparecida de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2023. **Artificial supplementation of light in the corn crop.** Adviser: João Carlos Cardoso Galvão. Co-advisers: Emerson Trogello and Orismário Lúcio Rodrigues.

Corn (*Zea mays* L.) has great economic importance, being used mainly as human and animal food and raw material for industry. In cropping systems, many environmental factors affect their productivity, with light being one of the most important factors for plant growth and development. Supplementation with artificial light provides a constant light flux, which increases the quality and yield of plants, especially in protected cultivation, in areas with little or no access to natural light. In the field, this technology is recent and implemented in center pivot irrigation. Our objective was to evaluate the influence of artificial light supplementation with LEDs, simulating center pivot irrigation technology, on the development of maize plants in the harvest (summer) and off-season (summer/autumn). The experiments were carried out at the Universidade Federal de Viçosa (UFV), located in Viçosa - MG. Two evaluation cycles were performed: in the season (2021/2022) (no supplementary light, 20 seconds of supplemental light per night, 40 seconds of supplemental light per night, 80 seconds of supplemental light per night, 160 seconds of supplemental light per night and with supplementary light all night) and off-season (2022) (without supplementary light, 20 seconds of supplementary light per night, 40 seconds of supplemental light per night, 80 seconds of supplemental light per night, 160 seconds of supplementary light per night and 4 hours of supplemental light per night). In both evaluation cycles, morphological analyzes of maize (in the vegetative and reproductive stages) and analyzes of production and productivity components were carried out. In the off-season, physiological analyzes were added (in the vegetative and reproductive stages). The supplemental light affected the growth and development of the maize crop. At harvest, treatment with supplemental light all night resulted in greater height and internode length and lower fresh and dry matter of the reproductive part. There was a delay in bolting in treatments with 160 seconds and supplemental light all night (harvest) and 160 seconds of light and 4 hours of light per night (safrinha). In the season, there was no female flowering (emission of the spikelet) with supplemental light all night and in the off-season there was a delay in flowering in the treatment with

4 hours of supplemental light per night. Such treatments negatively affected the production components, reducing grain yield and number of green corn ears, respectively. The variation in the times of light supplementation had little influence on the photosynthetic performance of the corn crop. In addition, among the pivot simulation times, plants cultivated with 20 seconds of light supplementation presented a favorable stimulus for corn production, with a more accentuated tendency in the morphology of the plants. The time of light supplementation above 160 seconds promotes changes in the morphophysiological characteristics and in the production components of maize. The arrangement of lamps on the pivot can promote different results in the crop, and those fixed in the towers closest to the base tend to be more harmful to the corn crop.

Keywords: Growth. Phenology. LEDs. Supplementary light. Productivity. *Zea mays* L.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	15
3 REFERÊNCIAS	16
<b>CAPÍTULO I - FENOLOGIA E CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE MILHO SUBMETIDO A DIFERENTES TEMPOS DE SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA</b>	<b>188</b>
1 INTRODUÇÃO	200
2 MATERIAL E MÉTODOS	222
2.1 Caracterização da área experimental	22
2.2 Instalação dos experimentos	22
2.2.1 Primeiro experimento – Safra	25
2.2.2 Segundo experimento - Safrinha	26
2.3 Variáveis Climáticas	27
2.4 Características morfológicas	30
2.5 Procedimentos estatísticos	31
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	322
4 CONCLUSÃO	633
5 REFERÊNCIAS	644
<b>CAPÍTULO II - COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DE MILHO SUBMETIDO A DIFERENTES TEMPOS DE SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA</b>	<b>69</b>
1 INTRODUÇÃO	71
2 MATERIAL E MÉTODOS	722
2.1 Caracterização da área experimental	72
2.2 Instalação dos experimentos	73
2.2.1 Primeiro experimento – Safra	76
2.2.2 Segundo experimento – Safrinha	77
2.3 Variáveis Climáticas	78

2.4 Características avaliadas	81
2.5 Procedimentos estatísticos	82
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
4 CONCLUSÃO	933
5 REFERÊNCIAS	944
<b>CAPÍTULO III - DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO DE MILHO SAFRINHA SUBMETIDO A DIFERENTES TEMPOS DE SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA</b>	966
1 INTRODUÇÃO	977
2 MATERIAL E MÉTODOS	99
2.1 Caracterização da área experimental	99
2.2 Instalação do experimento	99
2.3 Variáveis Climáticas	104
2.4 Características fisiológicas	106
2.5 Procedimentos estatísticos	107
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	10808
4 CONCLUSÃO	1166
5 REFERÊNCIAS	1177
CONSIDERAÇÕES FINAIS	11919
APÊNDICE	1211

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A principal fonte de luz do planeta Terra é o sol, que emite radiação eletromagnética que será transformada em energia pelas plantas. Essa radiação possui comprimento de onda de 300 nm a 2500 nm (TAIZ et al., 2017). No entanto, de toda energia solar incidente na superfície terrestre, 51,3% é não fotossintética (do inglês, Photosynthetically Active Radiation) (PAR), 4,9% é refletida ou transmitida e 6,6% é perdida pela ineficácia do próprio processo fotossintético (LANDI et al., 2019).

A luz disponível na banda fotossinteticamente ativa (400-700 nm) é comumente expressa como fótons de igual peso atingindo uma área de metro quadrado a cada segundo ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), ou densidade de fluxo de fótons fotossintéticos. Tanto a intensidade, quanto a qualidade (comprimento de onda), tempo de exposição e direção de propagação dos raios de luz interferem na resposta das plantas à iluminação (SARRA et al., 2021). A percepção dos comprimentos de onda da luz é feita por fotorreceptores, como os fitocromos (vermelho e vermelho-distante), os criptocromos e fototropinas (azul e UV-A) e o UVR8 (UV-B) (WANG et al., 2020).

A iluminação artificial tem sido amplamente utilizada, uma vez que, possibilita o aumento do fotoperíodo, possui intensidade luminosa que pode promover ou não a floração e alongamento do caule, além de possibilitar a produção indoor (PAUCEK et al., 2020; BIAN et al., 2018).

O Diodo Emissor de Luz (LED) tem se estabelecido como tecnologia interessante para suprir a carência luminosa passível de acontecer em campo (KRBAL et al., 2014) ou em ambientes protegidos (GUPTA, 2017), uma vez que, possui uma banda estreita e específica de emissão, além de maior eficácia na conversão de energia elétrica em energia luminosa, menor consumo energético, vida útil prolongada e baixa emissão de calor (ZOU et al., 2020).

A iluminação artificial com lâmpadas LED pode aumentar a taxa de assimilação de carbono, que está relacionada à radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelas folhas, convertendo energia luminosa em energia química pela fotossíntese (FREITAS et al., 2021). Resultados positivos foram relatados para diversas culturas sob diferentes arranjos de iluminação de LEDs azul, vermelho e vermelho distante (NAIR et al., 2021; ETAE et al., 2020; PALMITESSA et al., 2020; DÖRR et al., 2020; YAN et al., 2018).

No entanto, a maior parte dos trabalhos com luz artificial têm sido realizados em cultivo protegido, especialmente em países em elevada latitude, como grande parte da Ásia, Europa e Canadá, onde a suplementação com luz tem sido utilizada de forma a aumentar a fotossíntese e o rendimento de plantas, principalmente no inverno. No Brasil, especialmente em campos abertos, essa tecnologia tem sido pouco explorada.

Em campo, a tendência é realizar a suplementação de luz durante a noite, juntamente com o turno de rega via pivô central. No entanto, existem alguns questionamentos referentes à tecnologia. A iluminação artificial tem qualidade e intensidade suficiente para emitir comprimento de ondas capazes de tornar-se fotossinteticamente ativa? Em qual estágio fenológico deve-se fornecer a suplementação com luz? Quais as alterações na comunidade de plantas daninhas? E de insetos-praga?

Outras questões estão associadas à diferença de velocidade e de área de cobertura que as diferentes torres do pivô proporcionam, uma vez que, podem ocasionar desuniformidade da suplementação luminosa. Desta forma, qual o tempo de iluminação suficiente para aumentar a produtividade? Será que toda a área irá receber a mesma quantidade de luz à noite?

Escolhemos a cultura do milho para os ensaios experimentais com luz suplementar via pivô por ser uma das commodities de maior importância no Brasil e no mundo, sendo utilizado tanto na alimentação humana como animal e na indústria (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2015). O milho é uma espécie de metabolismo fotossintético C4, apresenta alta eficiência produtiva com o aumento da intensidade luminosa (GALVÃO, BORÉM e PIMENTEL, 2017). A redução na intensidade luminosa, principalmente próximo ao estágio reprodutivo, pode resultar em perdas de produção (FANCELLI, 2017).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a influência da suplementação de luz artificial com LEDs, simulando a tecnologia em pivô central de irrigação, no desenvolvimento de plantas de milho na safra (verão) e na safrinha (verão/outono).

## **2.2 Objetivos específicos**

- Investigar o comportamento morfofisiológico do milho exposto à diferentes tempos de suplementação luminosa;
- Avaliar a produção de milho exposto à diferentes tempos de suplementação luminosa;
- Determinar o tempo de suplementação luminosa mais efetivo para promover alterações nas características fisiológicas, morfológicas e na produtividade de milho.

### 3 REFERÊNCIAS

- BIAN, Z.; CHENG, R.; WANG, Y.; YANG, Q.; LU, C. Effect of green light on nitrate reduction and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.) under short-term continuous light from red and blue light-emitting diodes. *Environmental and Experimental Botany*, v. 153, p. 63-71, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.05.010>.
- DÖRR, O. S.; BREZINA, S.; RAUHUT, D.; MIBUS, H. Plant architecture and phytochemical composition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under the influence of light from microwave plasma and high-pressure sodium lamps. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, v. 202, n. 111678, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111678>.
- EMBRAPA MILHO E SORGO. Cultivo do Milho – Dados do Sistema de Produção. Brasília: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 331p. (Sistema de Produção, 1.).
- ETAE, N.; WAMAE, Y.; KHUMMUENG, W.; UTAIPAN, T.; RUANGRAK, E. Effects of artificial light sources on growth and phytochemicals content in green oak lettuce. *Horticultura Brasileira*, v. 38, n. 2, 2020. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620200213>.
- FANCELLI, A. L. Ecofisiologia, Fenologia e Implicações básicas de manejo. In: Milho: do plantio à colheita. 2. ed. atual. e ampl. Viçosa: UFV, p. 50-56, 2017.
- FREITAS, I. S.; ROLDÁN, G. Q.; MACEDO, A. C.; MELLO, S. C. The responses of photosynthesis, fruit yield and quality of mini-cucumber to LED-interlighting and grafting. *Horticultura Brasileira*, v. 39, n.1, 2021. <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210113>.
- GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. Milho do plantio à colheita. 2. ed. Viçosa, MG: Editora Ufv, 382 p., 2017.
- GUPTA, D. S. (Ed.). Light emitting diodes for agriculture: Smart lighting. Singapore: Springer, 345p, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5807-3>.
- KRBAL, M.; BAXANT, P.; SKODA, J.; SUMEC, S. Operating parameters of luminaires for phytotron, In: 15th International Scientific Conference on Electric Power Engineering, EPE 2014. Anais... Brno-Bystrc, Czech Republic: EEE. p. 671-674, 2014 <https://doi.org/10.1109/EPE.2014.6839411>.
- LANDI, M.; ZIVCAK, M.; SYTAR, O.; BRESTIC, M.; SULEYMAN I ALLAKHVERDIEV, S. I. Plasticity of photosynthetic processes and the accumulation of secondary

metabolites in plants in response to monochromatic light environments: A review. *Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics*, v. 1861, n. 2, p. 131 - 148, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2019.148131>.

NAIR, I.; MAZUMDARA, P.; SINGHA, P.; RENGASAMY, N.; HARIKRISHNA, J. A. Increasing the Ratio of Blue to Red Light Improves Growth and Phytochemical Content in *Hydrocotyle bonariensis* L. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2021, v.68, n.2, p. 337-346. <https://doi.org/10.1134/S1021443721020126>.

PALMITESSA, O. D.; LEONI, B.; MONTESANO, F. F.; SERIO, F.; SIGNORE, A.; SANTAMARIA, P. Supplementary Far-Red Light Did Not Affect Tomato Plant Growth or Yield under Mediterranean Greenhouse Conditions. *Agronomy*, v. 10, n. 12, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121849>.

PAUCEK, I.; PENNISI, G.; PISTILLO, A.; APPOLLONI, E.; CREPALDI, A.; CALEGARI, B.; SPINELLI, F.; CELLINI, A.; GABARRELL, X.; ORSINI, F.; GIANQUINTO, G. Supplementary LED interlighting improves yield and precocity of greenhouse tomatoes in the Mediterranean. *Agronomy*, v. 10, n. 7, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071002>.

SARRA, S. R.; PIRRÓ, L. F. S.; ROMÉRO, M. A. Questões projetuais no emprego de leds para produção de alimentos mais nutritivos. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 1, p. 7266-7278, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-491>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. Ed. Porto Alegre: Artmed, 918 p., 2017.

WANG, P.; CHEN, S.; GU, M.; CHEN, X.; CHEN, X.; YANG, J.; ZHAO, F.; YE, N. Exploration of the effects of different blue led light intensities on flavonoid and lipid metabolism in tea plants via transcriptomics and metabolomics," *International Journal of Molecular Sciences*, v. 21, n. 13, p. 1–18, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijms21134606>.

YAN, W.; ZHANG, Y.; ZHANG, Y.; CHENG, R.; ZHANG, Y.; YANG, Q.; LI, T. Effects of Supplementary Artificial Light on Growth of the Tomato (*Solanum lycopersicum*) in a Chinese Solar Greenhouse, v. 87, n. 4, p. 516-523, 2018. <https://doi.org/10.2503/hortj.OKD-165>.

ZOU, J.; ZHOU, C.; XU, H.; CHENG, R.; YANG, Q.; LI, T. The effect of artificial solar spectrum on growth of cucumber and lettuce under controlled environment. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 19, n. 8, p. 2027–2034, 2020. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63209-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63209-9).

## **CAPÍTULO I - FENOLOGIA E MORFOLOGIA DO MILHO SUBMETIDO A DIFERENTES TEMPOS DE SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA**

### **RESUMO**

Objetivou-se com o trabalho avaliar a influência da suplementação de luz artificial na cultura do milho com LEDs, simulando a tecnologia via pivô central de irrigação na safra (verão) e na safrinha (verão/outono). Foram instalados na área, suportes de madeira com módulos de LED (MÓDULO 48L FNLE HORT PINK 25% BLUE 90º 250X71X37MM 76,5VDC 54W), com diferentes tempos de suplementação luminosa, simulando a passagem do pivô central (tempo.m<sup>2</sup>) (flashes por noite) sendo fornecidos todas as noites. Foram realizados dois ciclos de avaliação: na safra (2021/2022) (sem luz complementar, 20", 40", 80", 160" e com luz complementar a noite toda) e na safrinha (2022) (sem luz complementar, 20", 40", 80", 160" e 4h de luz complementar). Em ambos os ciclos de avaliação, foram avaliados altura, diâmetro do colmo, área foliar, massa de matéria fresca e seca em dois estádios fenológicos do milho (V8 e VT/R1). No estágio VT/R1 foram avaliados o comprimento e número de entrenós do colmo do milho. Os tempos de suplementação luminosa não proporcionaram diferenças nas variáveis estudadas no estágio vegetativo da safra. Na safrinha, os tratamentos com 4 horas de luz complementar por noite e 160" de luz complementar por noite proporcionaram os menores valores de altura e matéria seca. No estágio reprodutivo (VT/R1) da safra a suplementação de luz a noite toda promoveu maiores valores de altura e comprimento de entrenós e os menores valores de massa de matéria fresca e seca da parte reprodutiva (pendão e espiga). Houve atraso no pendoamento de plantas com 160" e luz complementar a noite toda na safra e 160" e 4 horas de luz complementar por noite na safrinha. Não houve o florescimento feminino (emissão da espigueta) com luz complementar a noite toda na safra e houve um atraso do florescimento no tratamento com 4 horas de luz complementar por noite na safrinha. E, em ambos ciclos de avaliação, plantas cultivadas com 20" de suplementação luminosa apresentaram estímulo favorável para a produção de milho, com tendência mais acentuada na morfologia das plantas. A luz complementar afetou o crescimento e desenvolvimento do milho. A disposição das lâmpadas no pivô pode promover diferentes resultados na cultura, sendo que aquelas fixadas nas torres mais próximas da base, tendem a ser mais prejudiciais para a cultura do milho.

Palavras-chave: Diodos Emissores de luz. Iluminação Artificial. *Zea mays*.

## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the influence of artificial light supplementation in the corn crop with LEDs, simulating the technology via center pivot irrigation in the harvest (summer) and in the off-season (summer/autumn). Wooden supports with LED modules (MODULE 48L FNLE HORT PINK 25% BLUE 90° 250X71X37MM 76.5VDC 54W) were installed in the area, with different times of light supplementation, simulating the passage of the central pivot ( $\text{time.m}^{-2}$ ) (flashes per night) being provided nightly. Two evaluation cycles were carried out: in the harvest (2021/2022) (without supplementary light, 20", 40", 80", 160" and with supplementary light all night) and in the off-season (2022) (without supplementary light, 20", 40", 80", 160" and 4h of supplementary light). In both evaluation cycles, height, stem diameter, leaf area, fresh and dry matter mass were evaluated in two maize phenological stages (V8 and VT/R1). At the VT/R1 stage, the length and number of internodes in the corn stalk were evaluated. The times of light supplementation did not provide differences in the variables studied in the vegetative stage of the crop. In the off-season, treatments with 4 hours of extra light per night and 160" of extra light per night provided the lowest height and dry matter values. In the reproductive stage (VT/R1) of the crop, the supplementation of light all night promoted higher values of height and internode length and the lowest values of fresh and dry matter of the reproductive part (tassel and ear). There was a delay in tanning plants with 160" and supplemental light all night in the harvest and 160" and 4 hours of supplemental light per night in the off-season. There was no female flowering (spikelet emission) with supplemental light all night in the season and there was a delay in flowering in the treatment with 4 hours of supplemental light per night in the off-season. In addition, in both evaluation cycles, plants cultivated with 20" of light supplementation presented a favorable stimulus for corn production, with a more accentuated tendency in the morphology of the plants. Supplemental light affected maize growth and development. The arrangement of lamps on the pivot can promote different results in the crop, and those fixed in the towers closest to the base tend to be more harmful to the corn crop.

Keywords: Light Emitting Diodes. Artificial Lighting. *Zea mays*.

## 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) pertencente à família Poaceae, originária do Continente Americano, é uma das commodities de maior importância no Brasil e no mundo (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2015). Cultivado em diversos países devido, entre outros fatores a sua grande adaptabilidade, representada por variados genótipos (BARROS e CALADO, 2014).

A máxima capacidade produtiva dos grãos depende tanto de fatores genéticos quanto de fatores edafoclimáticos. A luz solar está entre os parâmetros ambientais mais importantes que afetam a eficiência das plantas (SOLEYMANI, 2018), uma vez que, modifica as características morfológicas, anatômicas e fotossintéticas, impedindo a planta de expressar o seu máximo potencial produtivo (RECHNER et al., 2016).

Por ser uma planta de mecanismo fotossintético C4, o milho apresenta alta eficiência na utilização de luz e CO<sub>2</sub>, o que lhe confere alta produtividade biológica (FANCELLI, 2017), sendo adaptado a ambientes quentes e com alta luminosidade. Essa cultura é considerada uma planta fotoneutra (isto é, sem resposta ao fotoperíodo) ou de dias curtos. No entanto, o milho responde com altos rendimentos à medida que aumenta a intensidade luminosa (GALVÃO, BORÉM e PIMENTEL, 2017).

Por outro lado, a redução de luz na cultura (30% a 40%) retarda sua maturação. A maior sensibilidade é verificada no período próximo à fase reprodutiva, ou seja, naquele correspondente à emissão da 12/14ª folha até grãos leitosos. Nessa fase, a redução da disponibilidade de radiação luminosa pode provocar abortamento de grãos, mesmo após fertilizados, reduzindo drasticamente o número e a densidade dos grãos (massa específica) (FANCELLI, 2017).

Quando comparado com países temperados, o Brasil apresenta menor número de horas luz durante o dia. Algumas regiões produtoras de milho nos Estados Unidos, por exemplo, considerado o maior produtor, apresentam três horas de luz a mais que o Brasil, favorecendo excelentes produtividades. Segundo dados da USDA (2023), a média das expectativas para a safra 2022/23 nos Estados Unidos é 378,7 milhões de toneladas, com uma produtividade de 10.967 Kg por hectare, enquanto que a produção no Brasil deverá atingir 124,6 milhões de toneladas na safra 2022/23, com uma produtividade de 5.767 Kg por hectare (CONAB, 2023).

Neste contexto, a utilização de fontes artificiais de iluminação sobre a lavoura,

parece ser alternativa promissora, de uma forma controlável, via pivô central. A suplementação luminosa tem sido utilizada de forma a manter o fluxo de luz constante e aumentar a produtividade de plantas (BANTIS et al., 2018). Os rápidos avanços na tecnologia de iluminação levaram a uma gama de opções de iluminação disponíveis para a agricultura (NAIR et al., 2021).

No entanto, sabe-se que cada torre do pivô tem velocidade diferente, podendo ocasionar desuniformidade da “irrigação” com luz. Segundo dados fornecidos pelo engenheiro agrônomo Leonardo Miranda da Empresa ICrop, (informação pessoal) sobre pivô de 100 hectares com 50% de aplicação, a torre da base irriga uma área de 7.172,05 m<sup>2</sup> e gasta, em média, 2,62 minutos para percorrer 1 m<sup>2</sup>, necessitando de 13,1 horas para completar tempo da circunferência a 100%. Por outro lado, a torre mais próxima da ponta irriga uma área de 136.308,54 m<sup>2</sup> e gasta, em média, 13,72 segundos para percorrer 1 m<sup>2</sup> (Apêndice A). Portanto, o tempo de exposição à luz suplementar pode ser estritamente pequeno sobre o dossel das plantas.

Não há na literatura avaliação do desenvolvimento das plantas de milho, com suplementação luminosa, à campo, via LEDs em pivô central. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da suplementação luminosa sobre a fenologia e características morfológicas do milho, com LEDs, simulando a tecnologia via pivô central de irrigação na safra (verão) e na safrinha (verão/outono).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado em condições de campo na Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada em Viçosa – MG (latitude = 20 ° 45 ' ; longitude = 42 ° 51 ' ) em dois ciclos de avaliação, na safra (entre os meses de outubro/2021 e abril/2022) e na safrinha (abril/2022 a agosto/2022). Segundo a classificação climática de Köppen (1948) o clima da região é caracterizado como tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno.

Foram coletadas, antes da implantação dos experimentos, 10 amostras simples de solo (0 - 20 cm), para formar uma amostra composta. A mesma foi encaminhada para o Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante da Universidade Federal de Viçosa – *campus* Viçosa. As características da análise química estão dispostas na tabela 1.

**Tabela 1:** Caracterização química do solo.

pH	P	K	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	H+Al	
H <sub>2</sub> O	----- mg/dm <sup>3</sup> -----		----- cmmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----				
6,55	59,9	182	4,70	1,35	0,00	3,4	
CTC <sub>EF</sub>	CTC <sub>T</sub>	SB	M	v	N-total	MO	P-Rem
----- cmmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----		----- % -----		----- dag/kg -----		mg/dm <sup>3</sup>	
6,53	9,93	6,53	0,0	65,8	0,126	2,69	28,6

pH em água; KCl e CaCl - Relação 1:2,5; P - K - Extrator Mehlich-1; Ca<sup>2+</sup> - Mg<sup>2+</sup> - Al<sup>3+</sup> - Extrator KCl - 1 mol/L; H+Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; CTC<sub>EF</sub> - Capacidade de Troca de Catiônica efetiva; CTC<sub>T</sub> - Capacidade de Troca de Catiônica a pH 7,0; SB - Soma de Base Trocáveis; m – índice de saturação por alumínio; v – índice de saturação por bases; N-total – Nitrogênio; Mat. Org. (MO) - C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem – Fósforo Remanescente.

### 2.2 Instalação do experimento

Para a suplementação luminosa, foram utilizados módulos de LED de 25 cm de comprimento e 7,1 cm de largura, adquiridos da empresa Audax Electronics, dispostos na horizontal em refletores juntamente com seus respectivos drivers (Figura 1). O módulo (MÓDULO 48L FNLE HORT PINK 25% BLUE 90° 250X71X37MM 76,5VDC

54W) é composto por LEDs nas cores vermelho (~660nm) (75%) e azul (~450nm) (25%). A taxa de fluência de fótons dos módulos é de  $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e o consumo de 54 W.

O sistema era acionado por um quadro de comando automático (Figura 2) e o tratamento com suplementação luminosa a noite toda era acionado por um relé fotocélula, no qual ligava e desligava a partir da quantidade de luz no ambiente, ou seja, no anoitecer e amanhecer, respectivamente.

O conjunto (LED + refletor) foi instalado em suportes de madeira, situado no centro da parcela, em uma altura de 3 metros, simulando a altura do pivô (Figura 3). Para tanto, foi utilizado um módulo por parcela. Cada parcela consistia em 10 fileiras de 5 metros espaçadas de 0,5 m, formando uma área de  $25 \text{ m}^2$ .

Conforme mostra a Figura 4, os tratamentos com suplementação luminosa não afetavam o tratamento sem suplementação, uma vez que a luz incidia somente dentro da parcela a ser iluminada. O mesmo acontecia entre os diferentes tempos de suplementação luminosa.



Figura 1: Disposição da lâmpada de LED e seu respectivo driver no refletor, utilizados para a suplementação luminosa em plantas de milho. Fonte: Patricia Carvalho, 2021.

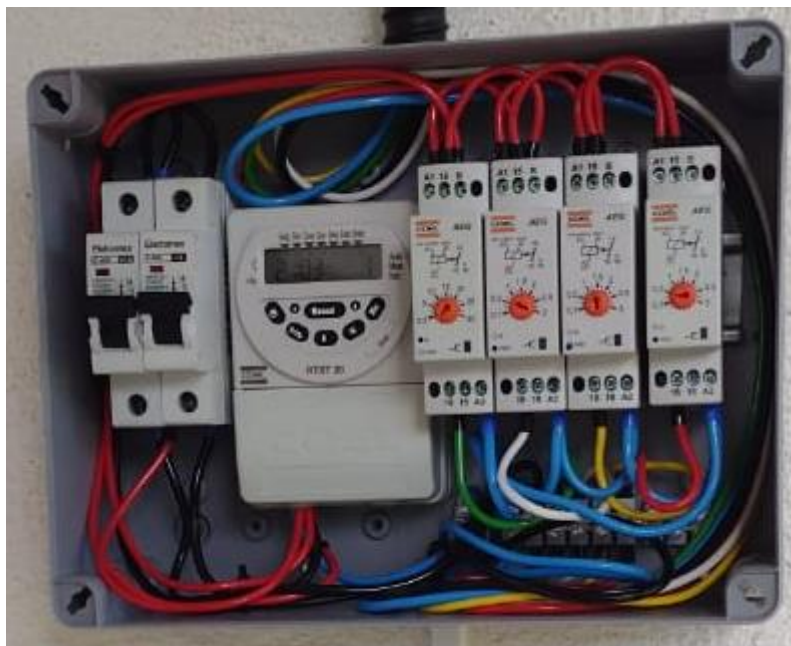


Figura 2: Quadro de comando automático. Fonte: Patricia Carvalho, 2021.

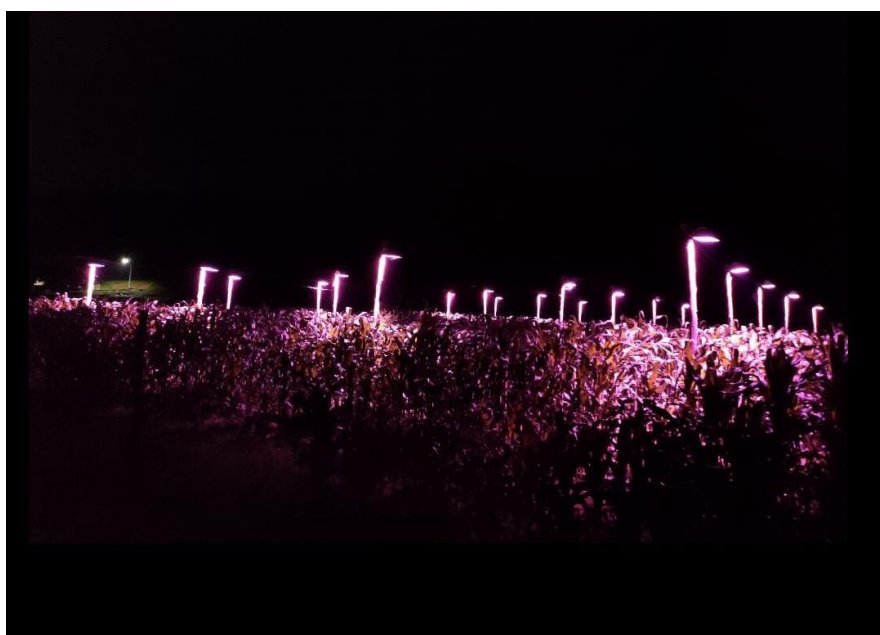


Figura 3: Cultivo de milho com iluminação suplementar de LED em suportes de madeira simulando a tecnologia em pivô. Fonte: Patricia Carvalho, 2021.

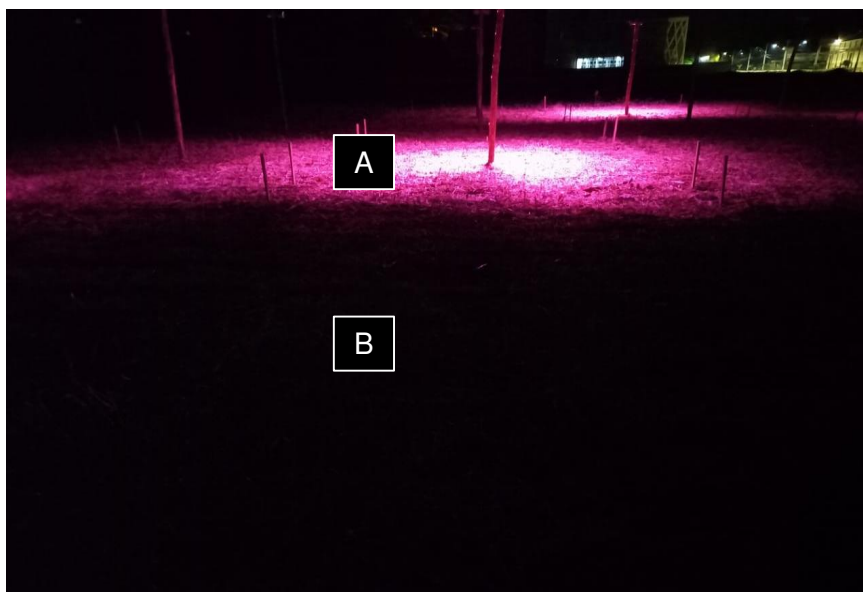


Figura 4: Parcela com (A) e sem (B) luz suplementar. Fonte: Patricia Carvalho, 2021.

### 2.2.1 Primeiro ciclo de avaliação – Safra

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. No primeiro plantio (safra) os tratamentos foram: sem iluminação suplementar; LED com 20 segundos de luz por noite; LED com 40 segundos de luz por noite; LED com 80 segundos de luz por noite; LED com 160 segundos de luz por noite; e LED acesa a noite toda.

Foi aplicado na área cinco litros por hectare de glifosato e um litro por hectare de 2,4-D para a dessecação (16 de outubro de 2021). A semeadura do milho ocorreu no dia 28 de outubro de 2021, utilizando sementes do híbrido DKB335PRO3. Esse híbrido possui ciclo precoce, grão semidentado e atinge altura média de 2,29 m (DEKALB, 2023). Para tanto, foram plantadas 5 sementes por metro linear, espaçadas a 0,50 metros entrelinhas. Após o desbaste, foram mantidas 3 sementes por metro, totalizando 60.000 plantas/hectare. A adubação de semeadura foi de 400 kg/hectare do fertilizante NPK na fórmula 8 28 16.

A suplementação luminosa teve início no dia 08 de novembro de 2021, quando as plantas estavam no estágio fenológico V1 (com uma folha completamente formada), sendo fornecida todas as noites, durante todo o ciclo da cultura. Os tratamentos 20, 40, 80 e 160 segundos de luz receberam a suplementação luminosa às 21 horas. Já no tratamento à noite toda, a suplementação iniciava ao anoitecer e

permanecia ligada até o amanhecer, utilizando sensor.

No estágio vegetativo V3 (três folhas completamente desenvolvidas) realizou-se o controle de plantas daninhas com 4 L/ha de glifosato. Foi realizada a adubação de cobertura, utilizando 150 Kg/ha de nitrogênio (N) na forma de ureia.

No estágio vegetativo V8 (oito folhas completamente desenvolvidas) foram feitas mensurações da taxa de fluência de fótons incidente sobre as plantas por meio do aparelho radiômetro (AccuPAR PAR/LAI Ceptometer modelo LP-80). Para tanto, foram feitas medições próxima ao refletor (A), numa porção mediana (B) e na altura das plantas (1,20 m) (C), obtendo os valores  $396,75 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ,  $38,25 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ,  $15,25 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , respectivamente (Figura 5).

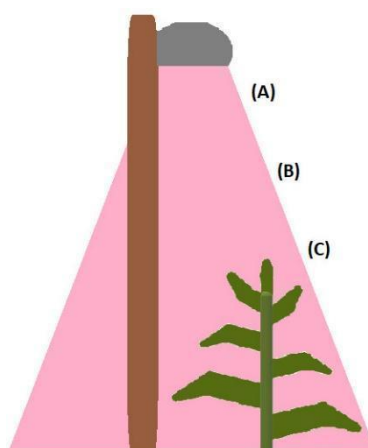


Figura 5: Mensuração da taxa de fluência de fótons com o radiômetro. (A) próxima ao refletor, (B) porção mediana e (C) altura das plantas no estágio V8 (1,20 metros).

Observou-se que a taxa de fluência de fótons que atingia as plantas nesse estágio, com altura média de 1,20 m, é muito baixa, dado que a taxa máxima de fluência de fótons existentes sobre a superfície da Terra é de  $2000 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  em um dia de pleno sol (TAIZ et al., 2017; KERBAUY, 2019). Portanto, próximo ao refletor a taxa de fluência de fótons era de 19,8% da existente na superfície da Terra, na porção mediana era de 1,9% e na altura das plantas em V8 era de 0,76%.

### 2.2.2 Segundo ciclo de avaliação - Safrinha

O segundo ciclo de avaliação baseou-se nos resultados do primeiro, que não obteve produtividade no tratamento com luz a noite toda. Portanto, em substituição a este, foi definido um novo tratamento. O delineamento experimental adotado foi o de

blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Os tratamentos foram: sem iluminação suplementar; LED com 20 segundos de luz por noite; LED com 40 segundos de luz por noite; LED com 80 segundos de luz por noite; LED com 160 segundos de luz por noite; e LED com 4 horas de luz por noite (simulando um dia longo).

O plantio do milho foi feito no dia 11 de abril de 2022, utilizando sementes do híbrido DKB380PRO3. Esse híbrido possui ciclo precoce, grão semiduro e atinge altura média de 2,33 m (DEKALB, 2023). Para tanto, foram plantadas 5 sementes por metro linear, espaçadas a 0,50 metros na entrelinha. Após o desbaste, foram mantidas 2,5 sementes por metro, totalizando 50.000 plantas/hectare. Na adubação de plantio foi utilizado 200 kg/ha do fertilizante NPK na fórmula 8 28 16.

O controle de plantas daninhas foi realizado aplicando na área dois litros por hectare de glifosato para a dessecação (12 de abril de 2022). No estágio vegetativo V4 (com quatro folhas completamente desenvolvidas) foi feita a adubação de cobertura, utilizando 100 Kg/ha de N na forma de ureia. Além disso, também em V4, foi necessário efetuar o controle da cigarrinha (*Dalbulus maidis*), utilizando 750 mililitros por hectare do produto comercial Connect. Já em V5 (com cinco folhas completamente desenvolvidas) foi feito o controle de plantas daninhas, utilizando 3 L/ha de glifosato.

A suplementação luminosa teve início no dia 18 de maio de 2022, quando as plantas apresentavam 5 folhas completamente desenvolvidas (V5), sendo fornecida todas as noites, durante todo o ciclo da cultura. Os tratamentos 20, 40, 80 e 160 segundos de luz receberam a suplementação luminosa às 21 horas. Já no tratamento 4 horas de luz por noite, a suplementação iniciava às 18 horas e encerrava às 22 horas.

Em razão da falta de suportes (tripés) para os aspersores na unidade experimental, a irrigação das plantas foi realizada apenas na fase vegetativa.

### **2.3 Variáveis Climáticas**

Os dados climáticos como temperaturas máxima, média e mínima (°C), umidades máxima, média e mínima (%), radiação acumulada (KJ/m<sup>2</sup>) e precipitação acumulada (mm), registradas por decênio durante o período de condução dos ciclos de avaliação (safra e safrinha) pela Estação Climatológica Principal de Viçosa,

encontram-se dispostos nas Figuras 6, 7, 8 e 9, respectivamente. A Estação Climatológica Principal de Viçosa está localizada no Departamento de Engenharia Agrícola a aproximadamente 700 metros da área experimental.

A Figura 6 apresenta a variação das temperaturas máximas, médias e mínimas do ar, por decêndio, em todo o período de condução dos experimentos. A faixa de temperatura média durante a safra variou de 16,6 a 27,1 °C e de 11,6 a 22,5 °C na safrinha.

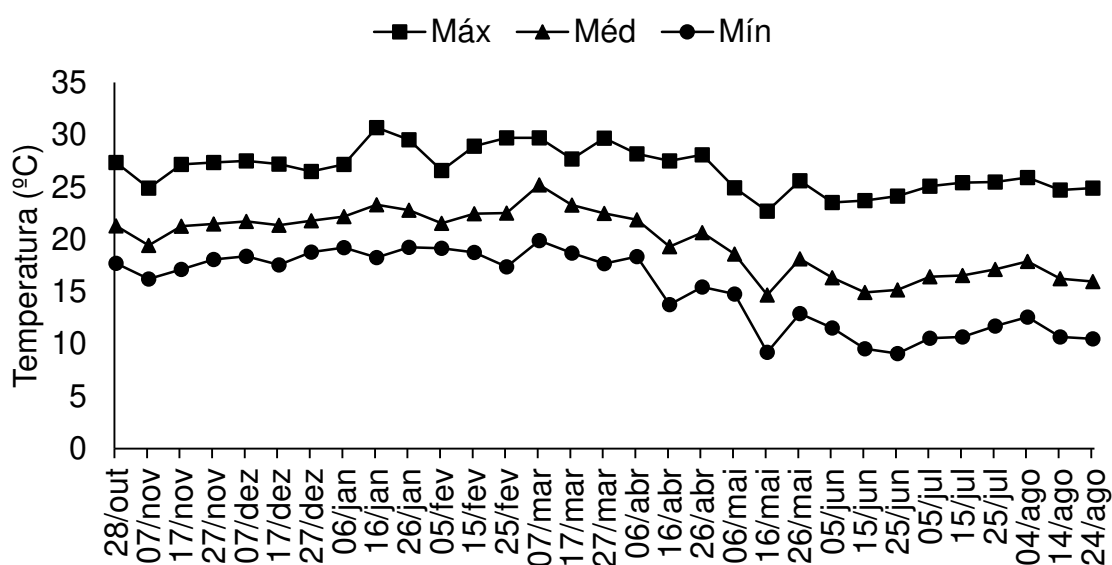


Figura 6: Temperaturas máxima, média e mínima (°C) registradas, por decêndio, durante o período de condução dos ciclos de avaliação, de outubro de 2021 a agosto de 2022 em Viçosa – MG. Fonte: Boletim meteorológico - UFV - Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa – MG.

A Figura 7 apresenta a variação das umidades máximas, médias e mínimas do ar, por decêndio, em todo o período de condução dos experimentos. A faixa de umidade média durante a condução da safra variou de 61,6 a 95,8 % e de 66,1 a 92,8 % na safrinha.

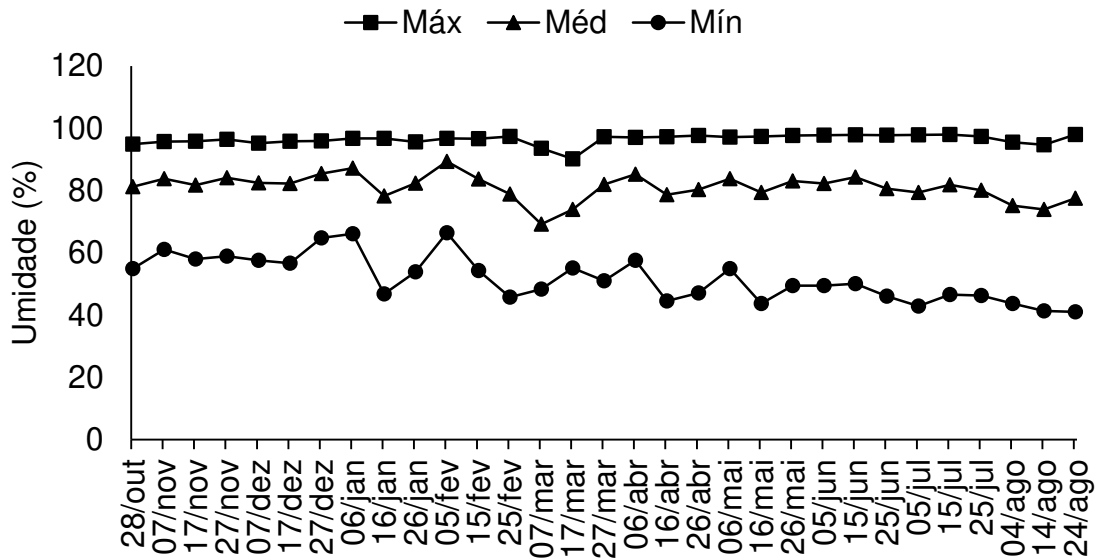


Figura 7: Umidades máxima, média e mínima (%) registradas, por decêndio, durante o período de condução dos ciclos de avaliação, de outubro de 2021 a agosto de 2022 em Viçosa – MG. Fonte: Boletim meteorológico - UFV - Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa – MG.

A Figura 8 apresenta a radiação acumulada, por decêndio, em todo o período de condução dos experimentos. A faixa de radiação solar durante a condução da safra variou de 1928,08 a 29277,35  $\text{KJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , com uma média de 16960,59  $\text{KJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ . Já na safrinha, a faixa de radiação solar variou de 4449,30 a 21407,60  $\text{KJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , com uma média de 13161,81  $\text{KJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ .

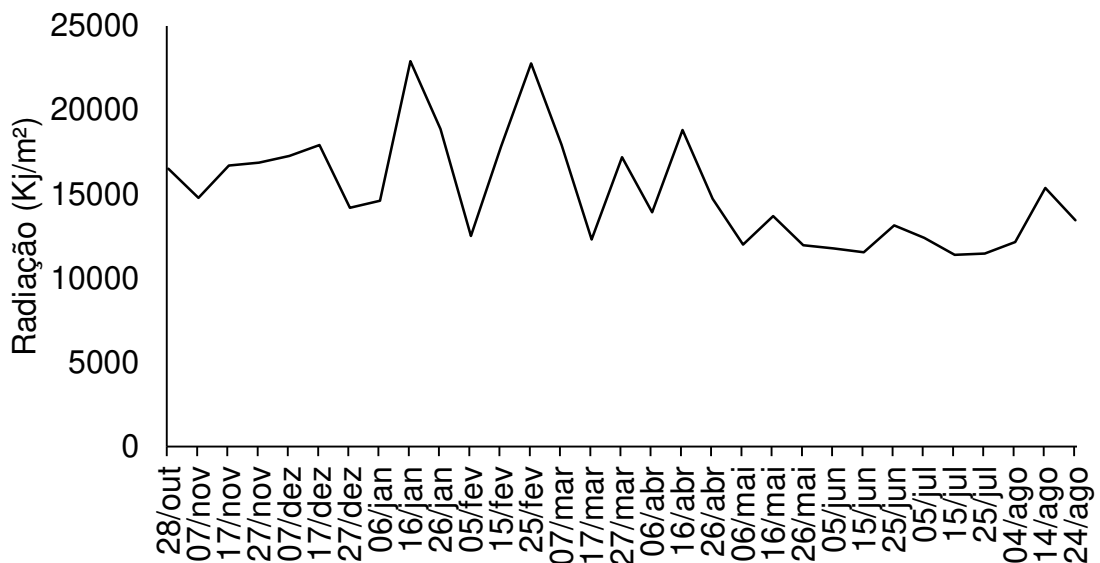


Figura 8: Radiação acumulada ( $\text{KJ/m}^2$ ) registrada, por decêndio, durante o período de condução dos ciclos de avaliação, de outubro de 2021 a agosto de 2022 em Viçosa – MG. Fonte: Boletim meteorológico - UFV - Departamento de Engenharia Agrícola.

Estação Climatológica Principal de Viçosa – MG.

A Figura 9 apresenta a variação da precipitação acumulada, por decêndio, em todo o período de condução dos experimentos. Durante a safra a média de precipitação foi de 8,41 mm.dia<sup>-1</sup>. Por outro lado, na safrinha, a média de precipitação foi de 0,34 mm.dia<sup>-1</sup>, o que foi amenizado com irrigação suplementar.

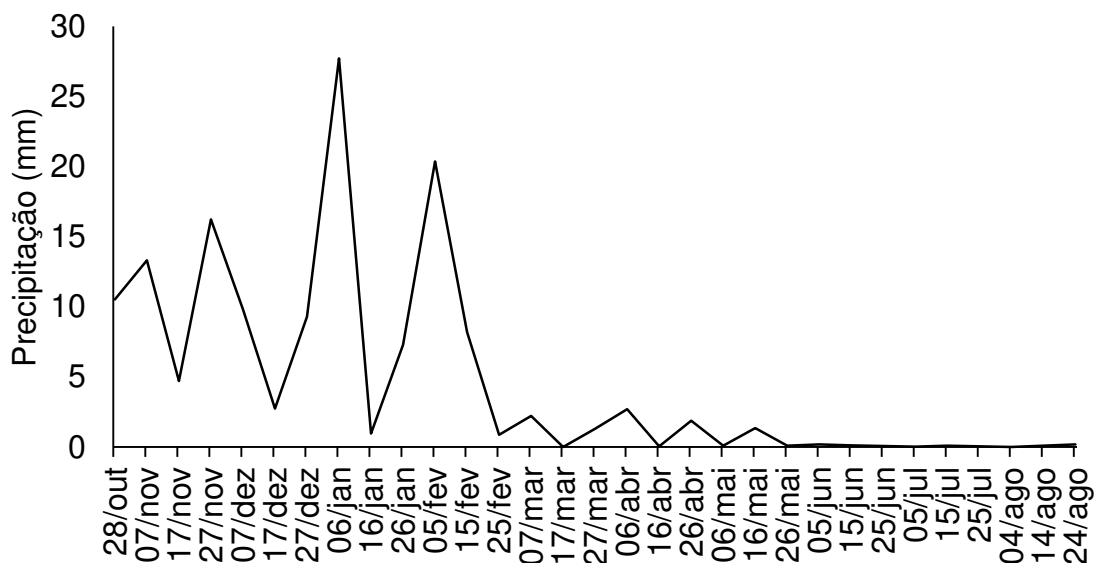


Figura 9: Precipitação acumulada (mm) registrada, por decêndio, durante o período de condução dos ciclos de avaliação, de outubro de 2021 a agosto de 2022 em Viçosa – MG. Fonte: Boletim meteorológico – UFV - Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa – MG.

## 2.4 Características morfológicas

Durante a condução da safra, verificou-se o aparecimento de perfilhos nas plantas de milho. Portanto, foram contadas plantas perfilhadas em toda a área a fim de esclarecer se os tempos da suplementação de luz estavam provocando tal efeito.

As avaliações de crescimento, em ambos ciclos de avaliação (safra e safrinha), foram realizadas em cinco plantas dispostas nas fileiras centrais de frente ao suporte das luzes de LED. Para tanto, foram realizadas duas avaliações ao longo do ciclo fenológico das plantas segundo Fancelli (2017): no estágio vegetativo V8 (oito folhas completamente desenvolvidas) e no estágio reprodutivo VT/R1 (pendoamento/florescimento). Essa última foi realizada no estágio VT do tratamento com luz suplementar a noite toda (safra) e com 4 horas de luz suplementar (safrinha), uma vez que as plantas apresentavam um atraso de desenvolvimento. Os demais

tratamentos foram avaliados no estágio R1.

Desta forma, foram medidas:

- Altura das plantas (m): média de 5 plantas ao acaso, medida entre o nível do solo e o ponto de inserção da última folha completamente formada, usando uma trena graduada em centímetros;
- Diâmetro do colmo (mm): média de 5 plantas ao acaso, medido a 5 centímetros do nível do solo, com auxílio de paquímetro;
- Área foliar (cm<sup>2</sup>): obtida pela média de 5 plantas ao acaso, através do medidor de área LI-3100 da empresa LI-COR;
- Matéria fresca (Kg): obtida pela média de 5 plantas ao acaso, por meio do uso de uma balança digital. Em VT/R1, foi feita a matéria fresca da parte vegetativa (folhas e colmos) e matéria fresca da parte reprodutiva (pendão e espiga) separadamente, e, posteriormente, obtida a matéria fresca total;
- Matéria seca (Kg): obtida pela média de 5 plantas ao acaso, as quais foram colocadas em sacos de papel na estufa de circulação forçada a 65 °C até obter peso constante e, posteriormente, foram pesadas em balança digital. Assim como a matéria fresca, foram obtidas matéria seca da parte vegetativa e da parte reprodutiva separadamente, e, posteriormente, obtida a matéria seca total.

No estágio reprodutivo (VT/R1) também foram mensurados:

- Comprimento do entrenó (cm): média de 5 plantas ao acaso, medido com auxílio de fita métrica;
- Número de entrenó: por contagem, obtido pela média de 5 plantas ao acaso.

Além disso, foram contabilizados os dias da emergência até o pendoamento e também até o pleno florescimento, considerando que a parcela estava nestes estágios quando 50% das plantas apresentavam pendão e espiga com estilo-estigma, respectivamente. E, em R6, foi avaliado a altura de inserção da primeira espiga.

## 2.5 Procedimentos estatísticos

Os dados experimentais foram analisados por meio de análise de variância e de regressão.

Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste “t” e adotando-se o nível de até 5% de probabilidade

no coeficiente de determinação ( $R^2 = \text{S.Q. Regressão} / \text{S.Q. tratamento}$ ) e no comportamento do fenômeno em estudo.

Para comparar a média do tratamento sem suplementação luminosa, a média do tratamento com luz a noite toda e a média do tratamento com 4 horas de luz por noite com os demais utilizou-se o teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância contendo as características analisadas no estágio vegetativo (V8) da safra como altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), número de perfilho (PER), área foliar (AF), matéria fresca (MF), matéria seca (MS), bem como os respectivos quadrados médios são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo da análise de variância das variáveis altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), número de perfilho (PER), área foliar (AF), matéria fresca (MF), matéria seca (MS) em função dos tempos de suplementação luminosa (L) no estágio vegetativo (V8) da safra.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS					
		ALT	DC	PER	AF	MF	MS
Bloco	3	0,0353	5,8874	155,1667	2130438	0,0390	0,0006
L	5	0,0266 <sup>ns</sup>	7,5432 <sup>ns</sup>	46,6000 <sup>ns</sup>	992430,1 <sup>ns</sup>	0,0236 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	0,0215	5,2387	79,8666	844784,6	0,0197	0,0004
CV(%)		12,39	9,11	41,08	15,06	19,61	23,3

<sup>ns</sup> Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os tempos de suplementação luminosa não proporcionaram diferenças nas variáveis estudadas no estágio vegetativo (V8) das plantas de milho na safra. Os valores médios das variáveis analisadas são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios de altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), número de perfilho (PER), área foliar (AF), matéria fresca (MF), matéria seca (MS) para os respectivos níveis de luz no estágio vegetativo (V8) da safra.

Tempo de luz	ALT	DC	PER	AF	MF	MS
	m	mm	-	cm <sup>2</sup>	Kg	Kg
Controle	1,22	26,51	23,25	6926,62	0,8280	0,1005
Noite toda	1,16	23,79	26,50	5509,89	0,7815	0,0840
20"	1,31	26,33	23,50	6038,63	0,6650	0,0820
40"	1,20	25,26	21,25	6232,86	0,7250	0,0935
80"	1,14	23,11	17,00	5680,33	0,6280	0,0745
160"	1,07	25,57	19,00	6207,12	0,6670	0,0860

O milho apresenta crescimento lento no início do ciclo, aumentando progressivamente até atingir a altura máxima. A menor taxa de crescimento inicial promove uma pequena área foliar e, conseqüentemente, menor utilização da radiação fotossinteticamente ativa (ALMEIDA et al., 2003). Somente a partir do estágio fenológico V10 (10 folhas completamente desenvolvidas) que as plantas apresentam rápido crescimento e acúmulo de biomassa (MAGALHÃES e DURÃES, 2006), portanto, tais variáveis podem não ter sido influenciadas pela suplementação luminosa devido ao crescimento mais lento nesses estádios de desenvolvimento do milho, período em que foi feita a medição, com 70 dias de suplementação luminosa.

Associado a isso, tem-se a baixa fluência de fótons que atingia as plantas até esse estágio de desenvolvimento. A quantidade de radiação que uma planta recebe influencia no seu crescimento e desenvolvimento. Em um dia de pleno sol, a densidade do fluxo fotônico (DFF), expressa em quantidade de fótons (mol ou mol de fótons) por unidade de área por unidade de tempo, na faixa de radiação fotossinteticamente ativa (400 a 700 nm) pode atingir aproximadamente a 2000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (TAIZ et al., 2017; KERBAUY, 2019). Porém, a taxa de fluência que chegava até as plantas nos estádios iniciais era inferior em relação a taxa de fluência próximo ao refletor ( $396,75 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) (Figura 5) correspondendo a 3,81% da taxa de fluência do refletor e 0,76% da taxa de fluência existente na sobre a superfície terrestre.

Desta forma, baixas intensidades de luz são capazes de saturar a reação dos fitocromos e criptocromos, mas podem ser insuficientes para a plenitude do processo fotossintético e, conseqüentemente, o acúmulo de biomassa (ZHENG e VAN LABEKE

2018). Resultado semelhante foi encontrado por Costa et al. (2019), os quais avaliando a utilização da suplementação de luz na indução de florescimento do morangueiro, não encontraram alterações nas variáveis iniciais de morangueiro, tais como massa seca das folhas.

Por outro lado, na safrinha foi possível observar efeito da suplementação luminosa no estágio vegetativo (V8). O resumo da análise de variância contendo as variáveis analisadas no estágio vegetativo (V8) na safrinha como altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF), matéria fresca (MF), matéria seca (MS), bem como os respectivos quadrados médios encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Resumo da análise de variância das variáveis altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF), matéria fresca (MF), matéria seca (MS) em função dos tempos de suplementação luminosa (L) no estágio vegetativo (V8) na safrinha.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		ALT	DC	AF	MF	MS
Bloco	3	118,3966	10,9789	565237,3	0,0053	0,0001
L	5	335,9713**	4,87557 <sup>ns</sup>	762992,1 <sup>ns</sup>	0,0278 <sup>ns</sup>	0,0002*
Resíduo	15	45,7114	5,3853	631537,4	0,0108	8,04E <sup>-05</sup>
CV(%)		10,947	7,11	21,48	20,07	19,86

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Observa-se que os tempos de suplementação luminosa proporcionaram diferenças nas variáveis altura e massa de matéria seca, no estágio vegetativo (V8) das plantas de milho na safrinha. Os valores médios das variáveis analisadas são apresentados na tabela 4.

Quando comparado o efeito dos diferentes tempos de suplementação de luz com o tratamento sem suplementação luminosa, pelo teste Dunnett, observa-se que para a variável altura (ALT), os tratamentos com 4 horas de luz suplementar por noite e 160" de luz suplementar por noite apresentaram os menores valores (0,45 e 0,57 metros, respectivamente).

Para a variável matéria seca (MS), os tratamentos com 4 horas de luz suplementar por noite e 20" de luz suplementar por noite diferiram do tratamento sem suplementação luminosa, com os menores valores de MS, 0,0350 e 0,0375 Kg, respectivamente. Isto sugere que as condições ambientais, mais especificamente a

luz (qualidade e duração) podem influenciar no crescimento de milho safrinha (menor comprimento do dia).

Assim como a falta de luz, a luminosidade em excesso, superior a capacidade de uso pela fotossíntese, pode levar a uma situação de estresse denominada fotoinibição. No entanto, isso não ocorreu neste ciclo de avaliação, uma vez que, a fotossíntese de plantas C4, tais como o milho, não satura com o aumento da intensidade luminosa, podendo assumir valores crescentes até as taxas máximas de fluência de fótons existentes sobre a superfície da terra ( $2000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) (MATOS et al., 2019; KERBAUY, 2019).

Tabela 4. Valores médios de altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF), matéria fresca (MF), matéria seca (MS) para os respectivos níveis de luz no estádio vegetativo (V8) na safrinha.

Tempo de luz	ALT	DC	AF	MF	MS
	m	mm	cm <sup>2</sup>	Kg	Kg
Sem luz suplementar	0,71	▪ 33,55	3673,85	0,6310	0,0560
4 horas	0,45*	33,21	2959,30	0,3995	0,0350*
20"	0,68	▪ 33,51	3506,05	0,4465	0,0375*
40"	0,65	▪ 31,43	3910,67	0,5550	0,0455
80"	0,62	▪ 31,04	4224,17	0,5550	0,0505
160"	0,57*	33,06	3918,38	0,5320	0,0465

As médias com asterisco (\*) na coluna diferem da média do tratamento sem luz suplementar pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

As médias com quadrado (▪) na coluna diferem da média de 4 horas de luz pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Por outro lado, quando comparados os demais tratamentos com o tratamento com quatro horas de luz por noite, observa-se que para a variável altura (ALT), somente o tratamento com 160" de luz suplementar por noite não teve diferença, apresentando média de 0,57 metros. Portanto, a suplementação luminosa acima de 160" afetou negativamente a altura das plantas de milho no estádio vegetativo da safrinha.

Para a variável matéria seca (MS), os tratamentos sem luz suplementar e 80" de luz suplementar por noite diferiram do tratamento com 4 horas de luz suplementar, apresentando os maiores valores de MS, 0,560 e 0,505 Kg, respectivamente. Resultado diferente foi encontrado por Costa et al. (2019) os quais avaliando a utilização da suplementação de luz na indução de florescimento do morangueiro, observaram que a luz vermelha proporcionou maior massa seca de folhas quando comparada com a luz natural.

Para as características analisadas nos estádios reprodutivos (VT /R1) da safra como altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF), matéria fresca da parte vegetativa (MFPV), matéria fresca da parte reprodutiva (MFPR), matéria fresca total (MFT), matéria seca da parte vegetativa (MSPV), matéria seca da parte reprodutiva (MSPR), matéria seca total (MST), comprimento de entrenó (CE), número de entrenós (NE) e dias até o pendoamento (PEN), observa-se que as variáveis ALT, MFPR,

MSPR, CE, NE e PEN foram afetadas pelos tempos de suplementação luminosa (Tabela 5).

.

Tabela 5. Resumo da análise de variância das variáveis altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF), matéria fresca da parte vegetativa (MFPV), matéria fresca da parte reprodutiva (MFPR), matéria fresca total no estágio reprodutivo (MFT), matéria seca da parte vegetativa (MSPV), matéria seca da parte reprodutiva (MSPR), matéria seca total no estágio reprodutivo (MST), comprimento de entrenó (CE), número de entrenós (NE) e dias até o pendoamento (PEN) em função dos tempos de suplementação luminosa (L) no estágio reprodutivo (VT/R1) na safra.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS											
		ALT	DC	AF	MFPV	MFPR	MFT	MSPV	MSPR	MST	CE	NE	PEN
Bloco	3	0,0233	3,3082	284217,4	0,0430	0,0038	0,0699	0,0029	0,0004	0,0044	1,5880	2,2638	5,6111
L	5	0,2872**	5,4768 <sup>ns</sup>	1427488 <sup>ns</sup>	0,0448 <sup>ns</sup>	0,0449*	0,0297 <sup>ns</sup>	0,0048 <sup>ns</sup>	0,0022**	0,0026 <sup>ns</sup>	2,8281**	3,4750**	228,8667*
Resíduo	15	0,0358	5,8026	2875933	0,0494	0,0058	0,0775	0,0024	0,0003	0,0036	0,9006	0,4972	3,6444
CV(%)		6,6	10,29	23,6	30,47	36,66	29,66	27,52	40,97	27,206	5,5	4,3	2,88

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os valores médios das variáveis analisadas são apresentados na Tabela 6. Quando comparado o efeito dos diferentes tempos de suplementação de luz com o tratamento sem suplementação luminosa, pelo teste Dunnett, observa-se que para as variáveis altura (ALT), matéria fresca da parte reprodutiva (MFPR), matéria seca da parte reprodutiva (MSPR) e comprimento de entrenós (CE) somente o tratamento de luz suplementar a noite toda foi diferente.

Para as variáveis altura (ALT) e comprimento de entrenós (CE), o tratamento com luz suplementar a noite toda apresentou os maiores valores, 3,40 m e 18,95 cm, respectivamente. Por outro lado, o mesmo tratamento apresentou menores valores de MFPR (0,0110 Kg) e MSPR (0,0045 Kg). Tais resultados, demonstram que as plantas investem mais recursos e nutrientes em crescimento do que em aspectos relacionados à reprodução.

Possivelmente, os efeitos observados nas características ALT e CE, bem como MFPR e MSPR, se devam à produção de hormônios, estimulada pela luz suplementar. A luz vermelha favorece a alongação foliar e caulinar por meio da biossíntese de giberelina (MANIVANNAN et al., 2015). Esse hormônio é responsável por vários processos metabólicos nas plantas, como crescimento e desenvolvimento, aumentando o alongamento e divisão celular (TAIZ et al., 2017).

Baldissera et al. (2022) avaliaram a utilização de suplementação luminosa artificial na produção de mini tubérculo de batata semente e observaram que o tratamento com maior tempo de suplementação (6 horas) apresentou maior desenvolvimento vegetativo e menor produtividade quando comparado com o tratamento sem suplementação.

Da mesma forma, Wu et al. (2015) avaliando a suplementação luminosa com LEDs no tomateiro observaram que a luz suplementar proporcionou maior altura, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar em comparação com o tratamento que não tinha suplementação, porém, os mesmos autores observaram que a suplementação proporcionou maior quantidade e qualidade dos frutos. Tais resultados não corroboram com a cultura do milho neste ciclo de avaliação.

No presente trabalho, o efeito dos diferentes tempos de suplementação de luz com o tratamento sem suplementação luminosa, pelo teste Dunnett, observa-se que para a variável número de entrenós (NE), os tratamentos com 20" de luz suplementar por noite, 40" de luz suplementar por noite e 160" de luz suplementar por noite foram diferentes, apresentando o menor valor de NE (15,75). Por outro lado, os tratamentos

com 80" de luz suplementar por noite e com luz suplementar a noite toda não diferiram do tratamento sem suplementação luminosa. E, embora o tratamento de luz a noite toda tenha apresentado maior altura e maiores comprimentos de entrenós, não houve diferença no número de entrenós quando comparado ao tratamento sem suplementação luminosa. Portanto, o aumento em altura não foi condicionado pelo número de entrenós formados, e sim pelo alongamento dos entrenós.

Para a variável dias até o pendoamento (PEN) (Tabela 6), os tratamentos com luz suplementar a noite toda e 160" de luz suplementar por noite, diferiram do tratamento sem luz suplementar, modificando o ciclo de desenvolvimento das plantas, que necessitaram de um período maior (dias) até chegarem no estágio de pendoamento. Segundo Cruz et al. (2010) o aumento do fotoperíodo promove aumento da duração da etapa vegetativa de plantas.

O período noturno é muito importante, uma vez que, sua interrupção, mesmo que por poucos minutos (quebra da noite), desencadeiam respostas particulares nas plantas. Essas respostas são reguladas por fotorreceptores que acionam as vias de transdução de sinal e promovem alterações na expressão gênica, promovendo modificações fisiológicas e/ou bioquímicas, incluindo a regulação fotoperiódica do florescimento (TAIZ et al., 2017; LANDI et al., 2019). Isso pode ser observado nas variáveis comprimento de entrenó e pendoamento, em que a quebra da noite provocou menor comprimento de entrenós nos tratamentos de 20", 40" e 160" de suplementação luminosa e maior número de dias para as plantas atingirem o pendoamento em 160" de suplementação luminosa.

Da mesma forma, a inexistência do período de escuro também promove uma série de alterações na morfologia e fisiologia da planta. Como pode ser observado, o milho cultivado com luz suplementar a noite toda demorou mais dias após a emergência para emitir o órgão reprodutivo masculino (pendão) (81 dias) e apresentou maior crescimento, podendo ser observado na variável altura (ALT) e comprimento de entrenós (CE). E, embora exista uma correlação positiva entre altura e produtividade, neste trabalho as plantas cultivadas com luz suplementar a noite toda não tiveram produtividade. Isso pode ser comprovado observando os baixos valores das variáveis matéria fresca e seca da parte reprodutiva, que até o momento da avaliação, apresentavam apenas pendão (estádio VT), enquanto os demais estavam no estágio R1.

Como o milho é uma planta de metabolismo fotossintético C4, respondendo

positivamente ao aumento da intensidade luminosa, sem que haja saturação, esperava-se que a suplementação luminosa melhorasse a capacidade produtiva das plantas. No entanto, a ausência de luz durante a noite é importante para as plantas, pois nesse período o amido acumulado durante o processo de fotossíntese é degradado em açúcares, que são translocados das folhas para o ápice ou para as folhas em desenvolvimento (URAIRI et al., 2017).

Em relação aos tempos de exposição à luz suplementar na simulação do pivô (20", 40", 80" e 160") (quebra da noite), observa-se que somente o tratamento com 160" de luz suplementar apresentou diferenças quando comparado com o tratamento sem luz suplementar, com menor valor de matéria seca da parte reprodutiva e maior número de dias até o pendoamento. Logo, a suplementação luminosa via pivô central mostrou-se ineficiente para a cultura do milho.

Tabela 6. Valores médios de altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF), matéria fresca da parte vegetativa (MFPV), matéria fresca da parte reprodutiva (MFPR), matéria fresca total no estágio reprodutivo (MFT), matéria seca da parte vegetativa (MSPV), matéria seca da parte reprodutiva (MSPR), matéria seca total no estágio reprodutivo (MST), comprimento de entrenó (CE), número de entrenós (NE) e dias até o pendoamento (PEN) para os respectivos níveis de suplementação luminosa, no estágio reprodutivo (VT/R1) na safra.

Tempo de luz	ALT	DC	AF	MFPV	MFPR	MFT	MSPV	MSPR	MST	CE	NE	PEN
	m	mm	cm <sup>2</sup>	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	cm	-	dias
Sem luz suplementar	2,72	24,76	6881,13	0,6875	0,2560	0,9435	0,1657	0,0578	0,2236	16,86	17,00	62
Noite toda	3,40*	24,55	8253,96	0,9255	0,0110*	0,9365	0,2485	0,0045*	0,2530	18,95*	18,00	81*
20"	2,77	23,53	7395,39	0,7535	0,3045	1,0580	0,1754	0,0724	0,2479	16,95	15,75*	62
40"	2,73	23,16	7144,58	0,7205	0,2565	0,9770	0,1682	0,0518	0,2201	16,95	15,75*	62
80"	2,73	21,65	6887,88	0,6705	0,2540	0,9250	0,1616	0,0479	0,2095	16,90	16,00	62
160"	2,81	22,66	6540,66	0,6210	0,1720	0,7930	0,1531	0,0295	0,1827	16,83	15,75*	67*

As médias com asterisco (\*) na coluna diferem da média do tratamento sem luz suplementar pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

As médias com quadrado (■) na coluna diferem da média de luz suplementar a noite toda pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Por outro lado, quando comparados os demais tratamentos com o tratamento de luz suplementar a noite toda, observa-se que para as variáveis altura (ALT), matéria fresca da parte reprodutiva (MFPR) e comprimento de entrenó (CE), todos os tratamentos foram diferentes. Como já mencionado acima, esse tratamento investiu na fase vegetativa, o que pode ser observado com maiores valores de ALT (3,40 m) e CE (18,95 cm) e menor valor de MFPR (0,0110 Kg).

Com relação a matéria seca da parte reprodutiva (MSPR) e pendoamento (PEN), somente o tratamento com 160 segundos de luz suplementar por noite não diferiu do tratamento com luz suplementar a noite toda, destacando que esses tempos de luz suplementar promoveram um atraso na reprodução. E para a variável NE, somente o tratamento com 80 segundos de luz apresentou diferença.

Conforme já mencionado, esses resultados se devem, possivelmente, à produção do hormônio giberelina nas plantas, o qual é responsável pela indução do alongamento de entrenós. As GAs promovem o crescimento das plantas através da degradação da proteína DELLA, repressora do crescimento (HEDDEN e THOMAS, 2016). No entanto, nas plantas, o metabolismo de GA é influenciado por fatores ambientais, como fotoperíodo e temperatura, os quais podem alterar os níveis de giberelinas bioativas por afetarem passos específicos da rota biossintética (TAIZ et al., 2017).

Da mesma forma, Nissim-Levi et al. (2019) observaram que a iluminação durante a noite toda com luz azul causou inibição completa da floração de crisântemo. Observaram ainda que, quando o tempo de iluminação foi encurtado para um total de 18 horas, a adição de luzes brancas e vermelhas no final dos dias curtos ainda inibiu completamente a floração.

Para as características analisadas nos estádios reprodutivos (VT /R1) na safrinha como altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF), matéria fresca da parte vegetativa (MFPV), matéria fresca da parte reprodutiva (MFPR), matéria fresca total (MFT), matéria seca da parte vegetativa (MSPV), matéria seca da parte reprodutiva (MSPR), matéria seca total (MST), e dias até o pendoamento (PEN), observa-se que somente a variável PEN foi afetada pelos tempos de suplementação luminosa no segundo ensaio experimental (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da análise de variância das variáveis altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF), matéria fresca da parte vegetativa (MFPV), matéria fresca da parte reprodutiva (MFPR), matéria fresca total no estágio reprodutivo (MFT), matéria seca da parte vegetativa (MSPV), matéria seca da parte reprodutiva (MSPR), matéria seca total no estágio reprodutivo (MST) e dias até o pendoamento (PEN) em função dos tempos de suplementação luminosa (L) no estágio reprodutivo (VT/R1) na safrinha.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS									
		ALT	DC	AF	MFPV	MFPR	MFT	MSPV	MSPR	MST	PEN
Bloco	3	0,0935	2,4117	8109708	0,0797	0,0680	0,2728	0,0088	0,0011	0,0152	11,1527
L	5	0,0057 <sup>ns</sup>	3,2007 <sup>ns</sup>	6102435 <sup>ns</sup>	0,0587 <sup>ns</sup>	0,0440 <sup>ns</sup>	0,0923 <sup>ns</sup>	0,0025 <sup>ns</sup>	0,0007 <sup>ns</sup>	0,0027 <sup>ns</sup>	462,3417 <sup>**</sup>
Resíduo	15	0,0229	3,3595	4055800	0,0876	0,0159	0,1021	0,0030	0,0002	0,0034	11,1194
CV(%)		6,70	6,68	31,96	37,45	68,89	32,81	36,26	70,83	33,02	3,57

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os valores médios das variáveis analisadas são apresentados na Tabela 8. Quando comparado o efeito dos diferentes tempos de suplementação de luz com o tratamento sem luz suplementar, pelo teste Dunnett, observa-se que para a variável pendoamento (PEN) os tratamentos com 4 horas de luz suplementar por noite e 160” de luz suplementar por noite foram diferentes.

E assim como na safra, os maiores tempos de suplementação deste estudo na safrinha (160” de luz suplementar por noite e 4 horas de luz por noite) modificam o ciclo de desenvolvimento das plantas, que necessitam de um período maior (dias) até chegarem no estágio de pendoamento. Como pode ser observado no quadro 8, o tratamento com 160” de luz suplementar por noite demorou 93 dias da emergência até a emissão do órgão reprodutivo masculino (pendão), enquanto que o tratamento com 4 horas de luz suplementar por noite demorou 114 dias da emergência até o pendoamento.

Tais resultados indicam que o milho, caracterizado por ser uma planta de metabolismo fotossintético C4 tem seu ciclo afetado pela luz, no entanto, comportamento diferente foi encontrado em plantas de metabolismo fotossintético C3. MACHADO et al. (2018) avaliando o efeito de diferentes espectros da suplementação artificial de luz no morangueiro em cultivo sem solo observaram a diminuição no número de dias necessários para as plantas atingirem a plena floração com uso de luz branca, de 52 (testemunha) para 47 dias.

Além disso, não houve diferença entre os tempos de exposição à luz suplementar na simulação do pivô (20”, 40”, 80” e 160”) com o tratamento sem luz suplementar, exceto para a variável pendoamento. Desta forma, tais resultados corroboram com os encontrados na safra, em que a suplementação luminosa via pivô central mostrou-se ineficiente para a cultura do milho.

Tabela 8. Valores médios de altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF), matéria fresca da parte vegetativa (MFPV), matéria fresca da parte reprodutiva (MFPR), matéria fresca total no estágio reprodutivo (MFT), matéria seca da parte vegetativa (MSPV), matéria seca da parte reprodutiva (MSPR), matéria seca total no estágio reprodutivo (MST) e pendoamento (PEN) para os respectivos níveis de suplementação luminosa, no estágio reprodutivo (VT/R1) na safrinha.

Tempo de luz	ALT	DC	AF	MFPV	MFPR	MFT	MSPV	MSPR	MST	PEN
	m	mm	cm <sup>2</sup>	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	dias
Sem luz suplementar	2,27	26,93	6124,61	0,7625	0,3205	1,0830	0,1530	0,0455	0,1985	85 ■
4 horas	2,30	28,34	7788,11	0,9165	0,0135	0,9300	0,1820	0,0040	0,1860	114*
20"	2,23	28,52	7322,68	0,9510	0,2560	1,2070	0,1695	0,0260	0,1955	87 ■
40"	2,29	26,84	6797,27	0,7775	0,1965	0,9740	0,1655	0,0275	0,1930	89 ■
80"	2,22	26,27	5082,32	0,6895	0,1725	0,8620	0,1225	0,0280	0,1505	90 ■
160"	2,21	27,65	4685,41	0,6470	0,1405	0,7875	0,1220	0,0150	0,1370	93* ■

As médias com asterisco (\*) na coluna diferem da média do tratamento sem luz suplementar pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

As médias com quadrado (■) na coluna diferem da média de 4 horas de luz suplementar pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Por outro lado, quando comparados os demais tratamentos com o tratamento com 4 horas de luz suplementar por noite, observa-se que para a variável pendoamento (PEN) todos os demais tratamentos foram diferentes. Tais resultados podem ser devido à ativação do fitocromo, o qual promoveu maior liberação de giberelina, que além de afetar o crescimento de plantas, também influencia na sua diferenciação floral (TAIZ et al., 2017).

A suplementação com luz artificial tem sido realizada principalmente em plantas hortícolas, em especial a cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) (KELLY et al., 2020; ETAE et al., 2020; LIU et al., 2020; LI et al., 2020; SON et al., 2016) e plantas medicinais (NAIR et al., 2021; ZHANG et al., 2020; ZOTOV et al., 2020; DÖRR et al., 2020; HAKOTR et al., 2019). Nessas plantas, sua utilização pode ser vantajosa pois o objetivo principal é produção de matéria fresca e/ou seca. Desta forma, aumentar a soma total de radiação que uma planta recebe em um dia é um método eficaz para aumentar o acúmulo de biomassa (KELLY et al., 2020).

Contudo, no milho o objetivo principal é a produção de grãos. Portanto, nas nossas condições experimentais, a utilização da suplementação luminosa a noite toda promoveu efeitos negativos à cultura. Embora tenha promovido maior altura de plantas, atrasou o pendoamento e, conseqüentemente, prejudicou a matéria seca da parte reprodutiva. Resultado semelhante foi observado na safrinha em que o tratamento com 4 horas de luz suplementar promoveu atraso no pendoamento. Além disso, somente o tempo de 160" de luz suplementar na simulação do pivô (quebra da noite) diferiu do tratamento sem luz. Desta forma, tais resultados indicam que a suplementação luminosa via pivô central não é eficiente para a cultura do milho.

Todavia, alguns autores obtiveram resultados positivos quando avaliaram a suplementação com luz artificial no rendimento de frutos, como Palmitessa et al., (2020) na produção de tomate, Chen et al., (2018), na produção de pitaya, Yan et al., (2018) na produção de tomate, Wu et al., (2015) na produção de tomate, Cavichioli et al., (2008) e Cavichioli et al., (2006) na produção de maracujá. Tais resultados mostram a possibilidade de utilização de LEDs como suplementação luminosa de plantas, e servem de referência para novas pesquisas.

Porém, nesses trabalhos, foram utilizados tempos maiores de exposição à luz (16, 14 ou 12 horas), sendo fornecida durante o dia a fim de manter o fluxo de luz constante em casas de vegetação. Em campo, não é possível fornecer esse tempo de exposição pensando na tecnologia em pivô. E mesmo que fosse possível, os

resultados aqui apresentados mostram que não seria benéfico para a cultura do milho.

Além disso, as luzes utilizadas nos trabalhos citados acima foram instaladas próximas às plantas. Em campo, via pivô, a lâmpada é instalada a 3 metros de altura, o que influencia na taxa de fluência de fótons que chega até as plantas.

Após a comparação pelo teste Dunnett, realizou-se a análise de regressão entre os tempos 20, 40, 80 e 160 segundos, utilizados na simulação do pivô (quebra da noite). No quadro 9 estão apresentadas as equações ajustadas para as variáveis em estudo no estágio vegetativo (V8) de ambos os ensaios experimentais, bem como ponto máximo e/ou mínimo e seus respectivos coeficientes de determinação.

Na safra, as variáveis área foliar (AF), matéria fresca (MF) e matéria seca (MS) não foram afetadas pelos tempos de suplementação luminosa, apresentando, em média, os valores 6039,73 cm<sup>2</sup>, 0,671 Kg e 0,084 Kg, respectivamente. Já na safrinha, observa-se que somente a variável matéria seca (MS) não foi afetada pelos tempos de suplementação luminosa, apresentando, em média, 0,522 Kg (Tabela 9).

Tabela 9. Equações ajustadas de altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), número de perfilho (PER), área foliar (AF), matéria fresca (MF) e matéria seca (MS) de ambos ciclos de avaliação no estágio vegetativo (V8) em função dos níveis de suplementação luminosa, bem como ponto máximo ou mínimo e seus respectivos coeficientes de determinação.

Ensaio experimental	Variáveis	Equações ajustadas	Ponto máximo / ponto mínimo	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>
Safrá	ALT	$\hat{Y} = 1,29543 - 0,00151413*L$	[20; 1,26]	0,8448
	DC	$\hat{Y} = 28,5317 - 0,112920*L + 0,000589325*L^2$	[95,80; 23,12]	0,9730
	PER	$\hat{Y} = 27,4167 - 0,202258*L + 0,000934140*L^2$	[108,85; 16,46]	0,9877
	AF	$\hat{Y} = 6039,73$	-	-
	MF	$\hat{Y} = 0,6715$	-	-
	MS	$\hat{Y} = 0,0840$	-	-
Safrinha	ALT	$\hat{Y} = 0,690924 - 0,000762319*L$	[20; 0,67]	0,9838
	DC	$\hat{Y} = 41,6277 - 2,47502*\sqrt{L} + 0,142369*\sqrt{L}^2$	[75,62; 30,87]	0,9782
	AF	$\hat{Y} = 1624,94 + 548,01*\sqrt{L} - 28,9685*\sqrt{L}^2$	[89,46; 4216,67]	0,9969
	MF	$\hat{Y} = 0,5221$	-	-
	MS	$\hat{Y} = 0,00482233 + 0,00952478**\sqrt{L} - 0,000492658**\sqrt{L}^2$	[93,44; 0,051]	0,9995

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t; \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Para a variável altura (ALT), observa-se que as médias na safra diminuem linearmente conforme aumenta o tempo de suplementação luminosa (Tabela 9), sendo que as plantas expostas ao menor tempo de suplementação luminosa (20") obtiveram o maior valor de altura (1,26m). O mesmo pode ser observado na safrinha, em que as médias diminuem linearmente conforme aumenta o tempo de suplementação luminosa (Tabela 9). Neste, plantas cultivadas com menor tempo de suplementação luminosa (20") apresentavam, em média, 0,67 metros de altura. Portanto, os diferentes tempos de suplementação luminosa na simulação do pivô central afetam negativamente a variável altura das plantas em ambos os ensaios experimentais.

A variável diâmetro do colmo (DC) apresentou comportamento quadrático em função do tempo de iluminação em ambos os ensaios experimentais. Na safra, o diâmetro do colmo obteve o maior valor estimado (26,50 mm) no tratamento com 20 segundos de luz por noite e o menor valor estimado (23,12 mm) em 95,8 segundos de luz suplementar (Tabela 9). Resultado semelhante foi encontrado na safrinha, em que o maior diâmetro estimado (33,40 mm) foi observado no tratamento de 20" (Tabela 9) e o menor valor estimado (30,87) foi encontrado em 75,62 segundos de suplementação luminosa.

O número de perfilho (PER), observado somente na safra, apresentou um comportamento quadrático, obtendo-se o maior número de perfilho estimado (23,73) em 20 segundos de luz (Tabela 9). Por outro lado, a estimativa do menor número de perfilho (16,46) foi observada em 108,85 segundos de suplementação luminosa. Na safrinha não foi observado a presença de perfilhos na área.

Perfilhos são estruturas provenientes de gemas axilares basais, que crescem paralelamente ao colmo principal, podendo ser ocasionados por fatores ambientais, nutricionais ou hormonais. Essa característica é considerada indesejável para o milho, por ser fonte de dreno dos fotoassimilados produzidos pela planta, prejudicando o crescimento do colmo principal (GALVÃO, BORÉM e PIMENTEL, 2017). Portanto, na cultura do milho, a emissão de perfilhos representa um gasto energético desnecessário, afetando de forma negativa a cultura. No entanto, não se chegou a uma conclusão plausível sobre o perfilhamento nessa avaliação, uma vez que, não há explicação biológica para tal comportamento.

A área foliar (AF), na safra, não foi influenciada pelos tempos de suplementação luminosa, apresentando uma média de 6039,73 cm<sup>2</sup> por planta (Tabela 9). Já na

safrinha, essa variável obedeceu a tendência representada por equação de raiz quadrada em função dos tempos de suplementação luminosa, obtendo-se o maior valor estimado (4216,67 cm<sup>2</sup>) em 89,46 segundos de luz suplementar (Tabela 9). Por outro lado, a estimativa da menor área foliar (3496,34 cm<sup>2</sup>) foi observada em 20 segundos de suplementação luminosa.

A matéria seca (MS), na safra, não foi influenciada pelos tempos de suplementação luminosa, apresentando uma média de 0,084 Kg por planta (Tabela 9). Já na safrinha, essa variável apresentou uma tendência caracterizada por uma equação de raiz quadrada, com maior valor estimado de matéria seca (0,051 Kg) em 93,44 segundos de luz suplementar (Tabela 9). Por outro lado, a estimativa do menor valor de matéria seca (0,037 Kg) foi observada em 20 segundos de suplementação luminosa.

Logo é possível observar que em ambos ciclos de avaliação, no estágio vegetativo (V8), as plantas com menor tempo de suplementação luminosa (20") apresentavam-se com maior altura e diâmetro. Porém, na safrinha, apesar das plantas estarem maiores em 20 segundos de suplementação luminosa, apresentaram menor área foliar e matéria seca.

Na Tabela 10 estão apresentadas as equações ajustadas para as variáveis em estudo no estágio reprodutivo (VT/R1) na safra, bem como ponto máximo ou mínimo e seus respectivos coeficientes de determinação. As variáveis diâmetro do colmo (DC), comprimento de entrenós (CE) e número de entrenós (NE) não foram afetadas pelos tempos de suplementação luminosa, apresentando, em média, os valores 22,75 mm, 16,91 cm e 15,81, respectivamente.

Tabela 10. Equações ajustadas de altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF), matéria fresca da parte vegetativa (MFPV), matéria fresca da parte reprodutiva (MFPR), matéria fresca total no estágio reprodutivo (MFT), matéria seca da parte vegetativa (MSPV), matéria seca da parte reprodutiva (MSPR), matéria seca total no estágio reprodutivo (MST), comprimento de entrenó (CE), número de entrenós (NE) e dias até o pendoamento (PEN) no estágio reprodutivo (VT/R1) da safra em função dos níveis de suplementação luminosa, bem como ponto máximo ou mínimo e seus respectivos coeficientes de determinação

Variáveis	Equações ajustadas	Ponto máximo/ ponto mínimo	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>
ALT	$\hat{Y} = 2,96834 - 0,0611936*\sqrt{L} + 0,00389396*\sqrt{L^2}$	[83,35; 2,73]	0,9983
DC	$\hat{Y} = 22.75$	-.	-.
AF	$\hat{Y} = 7425,25 - 5,77487*L$	[20; 7309,75]	0,9574
MFPV	$\hat{Y} = 0,76 - 0,000915*L$	[20; 0,74]	0,9536
MFPR	$\hat{Y} = 0,311 - 0,000855*L$	[20; 0,293]	0,9260
MFT	$\hat{Y} = 1,071 - 0,00177**L$	[20; 1,035]	0,9707
MSPV	$\hat{Y} = 0,1758 - 0,000148996*L$	[20; 0,172]	0,9415
MSPR	$\hat{Y} = 0,070366 - 0,000265263*L$	[20; 0,065]	0,8696
MST	$\hat{Y} = 0,246166 - 0,000414259*L$	[20; 0,237]	0,9036
CE	$\hat{Y} = 16,91$	-.	-
NE	$\hat{Y} = 15,81$	-.	-
PEN	$\hat{Y} = 60,6522 + 0,0363043*L$	[160; 66,46]	0,8630

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t; \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Da mesma forma, na Tabela 11 estão apresentadas as equações ajustadas para as variáveis em estudo no estágio reprodutivo (VT/R1) na safrinha, bem como ponto máximo ou mínimo e seus respectivos coeficientes de determinação. Somente a variável altura (ALT) não foi afetada pelos tempos de suplementação luminosa, apresentando, em média 2,24 m.

Por outro lado, as variáveis área foliar (AF), matéria fresca da parte vegetativa (MFPV), matéria fresca da parte reprodutiva (MFPR), matéria fresca total (MFT), matéria seca da parte vegetativa (MSPV) e matéria seca total (MST) apresentaram um comportamento descrito por uma equação potencial, caracterizados por um decréscimo acentuado à medida que aumentava os tempos de suplementação luminosa (Tabela 11).

A variável altura (ALT), na safra, apresentou uma tendência caracterizada por uma equação de raiz quadrada em função do tempo de iluminação (Tabela 10), obtendo-se o maior valor estimado (2,81 m) no tratamento com 160 segundos de luz por noite. Resultado diferente do encontrado no estágio vegetativo, onde as plantas cultivadas com 20 segundo de suplementação luminosa por noite apresentavam maior valor estimado de altura (1,26 m). Por outro lado, o menor valor estimado (2,73 m) foi encontrado com 83,35 segundos de suplementação luminosa. Já na safrinha, essa variável não foi influenciada pelos tempos de suplementação luminosa, apresentando uma altura média de 2,24 metros (Tabela 11).

O diâmetro do colmo (DC), na safra, não foi influenciado pelos tempos de suplementação luminosa, apresentando uma média de 22,75 mm (Tabela 10). Já na safrinha, essa variável apresentou uma tendência caracterizada por uma equação de raiz quadrada, obtendo-se a maior valor estimado (28,46 mm) em 20 segundos de luz suplementar. Por outro lado, o menor valor estimado (26,18 mm) foi encontrado com 80,81 segundos de suplementação luminosa (Tabela 11).

Tabela 11. Equações ajustadas de altura (ALT), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF), matéria fresca da parte vegetativa (MFPV), matéria fresca da parte reprodutiva (MFPR), matéria fresca total no estágio reprodutivo (MFT), matéria seca da parte vegetativa (MSPV), matéria seca da parte reprodutiva (MSPR), matéria seca total no estágio reprodutivo (MST), comprimento de entrenó (CE), número de entrenós (NE) e dias até o pendoamento (PEN) no estágio reprodutivo (VT/R1) da safrinha em função dos níveis de suplementação luminosa, bem como ponto máximo ou mínimo e seus respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações ajustadas	Ponto máximo/ ponto mínimo	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>
ALT	$\hat{Y} = 2,2415$	-	-
DC	$\hat{Y} = 35,2092 - 2,008*\sqrt{L} + 0,111685*\sqrt{L^2}$	[80,81; 26,18]	0,9895
AF	$\hat{Y} = 15158,980699 L^{-0,235206*}$	-	0,9360
MFPV	$\hat{Y} = 1,592619 L^{-0,184033*}$	-	0,9445
MFPR	$\hat{Y} = 1,739610 L^{-0,278465**}$	-	0,9837
MFT	$\hat{Y} = 2,139473 L^{-0,202446**}$	-	0,9606
MSPV	$\hat{Y} = 0,302771 L^{-0,185726*}$	-	0,8334
MSPR	$\hat{Y} = 0,023 + 0,000172661*L - 0,00000139113 *L^2$	[62,05; 0,028]	0,9995
MST	$\hat{Y} = 0,359208 L^{-0,189782*}$	-	0,9031
PEN	$\hat{Y} = 87,3696 + 0,0367391*L$	[160; 93,24]	0,9232

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t; \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

A área foliar (AF) apresentou uma redução linear em função do tempo de iluminação no primeiro ensaio experimental e um comportamento potencial no segundo ensaio experimental (Tabelas 10 e 11). Na safra, observou-se maior área foliar (7309,75 cm<sup>2</sup>) no tratamento com 20 segundos de suplementação luminosa (Tabela 10). E, embora na safrinha tenha apresentado um comportamento potencial, pode-se observar que seguiu a mesma tendência do primeiro ciclo de avaliação, com uma redução acentuada à medida que aumentava os tempos de suplementação luminosa (Tabela 11).

A matéria fresca da parte vegetativa (MFPV) apresentou comportamento linear em função dos tempos de suplementação luminosa na safra e um comportamento potencial em função dos tempos de suplementação luminosa na safrinha (Tabelas 10 e 11). Na safra, atingiu uma maior matéria fresca estimada (0,753 Kg) em 20 segundos de suplementação luminosa. O mesmo foi observado na safrinha, no qual o maior valor estimado de matéria fresca da parte vegetativa (0,74 Kg) foi observado em 20 segundos de suplementação luminosa (Tabela 10).

Para a variável matéria fresca da parte reprodutiva (MFPR) as plantas expostas ao menor tempo de suplementação luminosa (20 segundos) na safra, obtiveram o maior valor de matéria fresca da parte reprodutiva (0,293 Kg), de tal forma que, as médias diminuem linearmente conforme aumenta o tempo de suplementação luminosa (Tabela 10). Resultado semelhante foi encontrado na safrinha, que embora tenha apresentado um comportamento potencial em função dos tempos de suplementação luminosa, observou-se uma redução acentuada à medida que aumentava os tempos de suplementação luminosa (Tabela 11).

Da mesma forma, a variável matéria fresca total (MFT) apresentou comportamento linear na safra, obtendo-se o maior valor de matéria fresca (1,035 Kg) em 20 segundos de suplementação luminosa (Tabela 10). Semelhantemente, na safrinha também foi observado um comportamento potencial com uma redução acentuada à medida que aumentava os tempos de suplementação luminosa (Tabela 11).

A matéria seca da parte vegetativa (MSPV) também foi afetada pelos tempos de suplementação luminosa na safra, apresentando um comportamento linear, em que a maior matéria seca (0,172 Kg) foi obtida no tempo de 20 segundos de suplementação luminosa (Tabela 10). Resultado semelhante foi encontrado na safrinha, o qual apresentou um comportamento potencial com uma redução

acentuada à medida que aumentava os tempos de suplementação luminosa (Tabela 11).

A matéria seca da parte reprodutiva (MSPR) apresentou uma redução linear em função dos tempos de suplementação luminosa na safra e um comportamento quadrático na safrinha (Tabelas 10 e 11). No primeiro ciclo de avaliação, essa variável obteve maior valor (0,065 Kg) em 20 segundos de suplementação luminosa (Tabela 10). Entretanto, no segundo ciclo de avaliação, o maior valor de matéria seca da parte reprodutiva (0,028 Kg) foi em 62,05 segundos de luz suplementar (Tabela 11).

Da mesma forma, a variável matéria seca total na safra apresentou comportamento linear em função dos tempos de suplementação luminosa, enquanto que na safrinha, teve comportamento potencial (Tabelas 10 e 11). No primeiro ciclo de avaliação a maior matéria seca (0,237 Kg) foi obtida em 20 segundos de suplementação luminosa (Tabela 10). O mesmo foi observado no segundo ciclo de avaliação, no qual observou-se uma redução acentuada à medida que aumentava os tempos de suplementação luminosa (Tabela 11).

Todavia, para a variável número de dias até o pendoamento (PEN), houve aumento linear em ambos os ciclos de avaliação, sendo o maior valor obtido (66,46 dias após a emergência na safra e 93,24 dias após a emergência na safrinha) em 160 segundos de suplementação luminosa (Tabelas 10 e 11).

Logo é possível observar que, em ambos ciclos de avaliação no estágio reprodutivo (VT/R1), as plantas com menor tempo de suplementação luminosa (quebra da noite com 20”) apresentavam-se com maior área foliar, matéria fresca (parte vegetativa e reprodutiva) e matéria seca (parte vegetativa e reprodutiva). Tais resultados não demonstram que esse tempo de suplementação luminosa promoveu melhorias no milho, mas proporcionou menores perdas nessas variáveis, uma vez que, quando comparado com o tratamento sem suplementação luminosa pelo teste Dunnett, foi observado que a utilização dessa tecnologia não foi eficiente para a cultura.

É importante ressaltar que nos tratamentos com luz suplementar a noite toda, na safra e com 4 horas de luz suplementar, na safrinha, não houve emissão de espiga a ponto de ser contado como pleno florescimento, onde 50% das plantas apresentam espigas com 1/3 dos estilos-estigmas liberados. Houve uma inibição do florescimento em razão da alta exposição de luz, ao aumentar a duração do dia. Isso pode ser explicado pelo maior período em que a planta se encontrou na fase vegetativa,

utilizando fotoassimilados produzidos pelas folhas para emissão de folhas e crescimento, ao invés de investir na emissão de órgãos reprodutivos femininos. Desta forma, embora o milho seja considerado indiferente ao fotoperíodo, ou seja, floresce sem nenhuma relação com o comprimento do dia, nesse ciclo de avaliação foi possível observar que a extensão da duração do dia promove atraso no florescimento.

Portanto, as variáveis altura de inserção da primeira espiga (ALTE) e dias até o florescimento (FLO), em ambos os ensaios experimentais, foram avaliadas nos tratamentos: sem luz, 20 segundos de luz suplementar, 40 segundos de luz suplementar, 80 segundos de luz suplementar e 160 segundos de luz suplementar. A análise de variância indica que, no primeiro ensaio experimental, somente a variável dias até o florescimento foi afetada pelos tempos de suplementação luminosa (Tabela 12).

Tabela 12. Resumo da análise de variância das variáveis altura de inserção da primeira espiga (ALTE), dias até o florescimento (FLO) e intervalo de florescimento masculino e feminino (IFMF) em função dos tempos de suplementação luminosa (L) na safra.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS		
		ALTE	FLO	IFMF
Bloco	3	0,51	1,93	2,45
L	4	0,59 <sup>ns</sup>	32,75*	2,07 <sup>ns</sup>
Resíduo	12	0,35	4,18	1,74
CV(%)		11,22	3,07	39,39

\* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os valores médios das variáveis analisadas são apresentados na Tabela 13. Observa-se que, na safra, somente o tratamento de 160 segundos de luz diferiu do tratamento sem luz. Essa duração da suplementação luminosa (160") promoveu um atraso de 7 dias no florescimento em relação ao tratamento sem luz suplementar, o qual aconteceu com 71 dias após a emergência.

Tabela 13. Valores médios de altura de inserção da primeira espiga (ALTE), dias até o florescimento (FLO) e intervalo de florescimento masculino e feminino (IFMF) para

os respectivos níveis de suplementação luminosa na safra.

Tempo de luz	ALTE	FLO	IFMF
	m	dias	dias
Sem luz suplementar	1,51	64	2,75
20"	1,53	64	2,75
40"	1,53	65	3,00
80"	1,50	66	4,00
160"	1,60	71*	4,25

As médias com asterisco (\*) na coluna diferem da média do tratamento sem luz suplementar pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Assim como na safra, a análise de variância da safrinha indica que somente a variável dias até o florescimento foi afetada pelos tempos de suplementação luminosa (Tabela 14).

Tabela 14. Resumo da análise de variância das variáveis altura de inserção da primeira espiga (ALTE), dias até o florescimento (FLO) e intervalo de florescimento masculino e feminino (IFMF) em função dos tempos de suplementação luminosa (L) na safrinha.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS		
		ALTE	FLO	IFMF
Bloco	3	178,54	20,18	2,58
L	4	40,69 <sup>ns</sup>	51,55*	2,20 <sup>ns</sup>
Resíduo	12	29,68	9,68	1,16
CV(%)		4,43	3,381	37,89

\* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os valores médios das variáveis analisadas são apresentados na Tabela 15. Observa-se que, na safrinha, os tratamentos com 80 segundos de luz suplementar e 160 segundos de luz suplementar foram diferentes do tratamento sem luz. No tratamento com 80 segundos de luz suplementar, o florescimento aconteceu aos 93 dias após a emergência, apresentando um atraso de 6 dias em relação ao tratamento sem luz suplementar. Já o tratamento com 160 segundos de luz suplementar

promoveu um atraso de 10 dias no florescimento em relação ao tratamento sem luz suplementar, o qual aconteceu com 97 dias após a emergência.

Tais resultados indicam que, em campo, a utilização da suplementação luminosa via pivô central pode promover desuniformidade no florescimento de milho. Desta forma, as plantas mais distantes da base do pivô vão florescer normalmente. Por outro lado, as plantas mais próximas à base do pivô vão ter o florescimento atrasado, devido ao tempo de exposição da luz suplementar. Na safrinha, época de limitação hídrica e de temperatura, o tempo para florescimento é imprescindível na formação de grãos e na consolidação da produtividade.

Tabela 15. Valores médios de altura de inserção da primeira espiga (ALTE), dias até o florescimento (FLO) e intervalo de florescimento masculino e feminino (IFMF) para os respectivos níveis de suplementação luminosa na safrinha.

Tempo de luz	ALTE	FLO	IFMF
	m	dias	dias
Sem luz suplementar	1,24	87	2,00
20"	1,26	90	2,50
40"	1,24	92	2,50
80"	1,20	93*	3,50
160"	1,18	97*	3,75

As médias com asterisco (\*) na coluna diferem da média do tratamento sem luz suplementar pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 16 estão apresentadas as equações ajustadas para as variáveis em estudo de ambos ciclos de avaliação, bem como ponto máximo e/ou mínimo e seus respectivos coeficientes de determinação. Na safra, a variável ALTE não foi afetada pelos tempos de suplementação luminosa, apresentando, em média 1,54 m. Já na safrinha, somente a variável intervalo de florescimento masculino/feminino (IFMF) não foi afetada pelos tempos de suplementação luminosa, apresentando, em média, 3,06 dias.

A variável altura de inserção da primeira espiga (ALTE), na safra não foi afetada pelos tempos de suplementação, apresentando, em média, 1,54 m. Resultado diferente foi encontrado na safrinha, em que a variável ALTE apresentou uma tendência caracterizada por uma equação polinomial de segundo grau, no qual o

maior valor estimado (1,26 m) foi obtido em 20 segundos de luz suplementar. Por outro lado, o menor valor estimado de altura de inserção da primeira espiga (1,18 m) foi encontrado em 148,79 segundos de suplementação luminosa (Tabela 16).

Da mesma forma que a variável dias até o pendoamento, a variável dias até o pleno florescimento (FLO) apresentou um aumento linear, em ambos ciclos de avaliação (Tabela 16). Na safra, o maior valor estimado (71,10 dias após a emergência) foi obtido com 160 segundos de suplementação luminosa. O mesmo foi observado na safrinha, em que o maior valor estimado (97,13 dias após a emergência) foi obtido com 160 segundos de suplementação luminosa.

A variável intervalo de florescimento masculino/feminino (IFMF), na safra, apresentou um aumento linear em relação aos tempos de suplementação luminosa, apresentando maior valor (4,42 dias) em 160 segundos de luz. Por outro lado, na safrinha, essa variável não foi influenciada pelos tempos de suplementação luminosa, apresentando, em média, 3,06 dias entre a emissão da flor masculina e a flor feminina (Tabela 16).

Uma diferença maior que três a quatro dias entre a emissão do pendão e a liberação dos estilo-estigmas pode trazer problemas na polinização e conseqüentemente na fertilização dos ovários, o que compromete a formação de grãos (ALMEIDA et al., 2011).

Tabela 16. Equações ajustadas de altura de inserção da primeira espiga (ALTE) e dias até o florescimento (FLO) de ambos ciclos de avaliação em função dos níveis de suplementação luminosa, bem como ponto máximo ou mínimo e seus respectivos coeficientes de regressão.

Ciclo de avaliação	Variáveis	Equações ajustadas	Ponto máximo / ponto mínimo	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>
Safrá	ALTE	$\hat{Y} = 1,54$	-	-
	FLO	$\hat{Y} = 63,2609 + 0,0490217*L$	[160; 71,10]	0,9555
	IFMF	$\hat{Y} = 2,68478 + 0,0108696*L$	[160; 4,42]	0,8361
Safrinha	ALTE	$\hat{Y} = 1,29042 - 0,00143294*L + 0,00000481519*L^2$	[148,79; 1,18]	0,9993
	FLO	$\hat{Y} = 89,7065 + 0,046413**L$	[160; 97,13]	0,9649
	IFMF	$\hat{Y} = 3,06$	-	-

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t; \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Portanto, é evidente que a duração da suplementação luminosa na simulação do pivô tende a afetar o desenvolvimento do milho, sendo que conforme aumenta o tempo de iluminação, as plantas demoram mais para emitir os órgãos reprodutivos. Da mesma forma, à medida que aumenta o tempo de suplementação luminosa, as características morfológicas avaliadas no estágio reprodutivo são afetadas negativamente. Portanto, nas condições avaliadas neste ciclo de avaliação, a suplementação luminosa na simulação do pivô proporcionou efeito negativo no crescimento e desenvolvimento do milho, atrasando o seu ciclo.

E, embora a suplementação luminosa tenha reduzido o crescimento e desenvolvimento de milho, em ambos ciclos de avaliação, existem trabalhos que obtiveram resultados promissores usando essa tecnologia. Wu et al. (2015) avaliando a suplementação com LEDs em tomate observaram que as plantas que receberam luz apresentavam maior altura, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, peso seco e fresco maiores em relação à testemunha (sem suplementação luminosa). Mas, as plantas C4, principalmente o milho, podem responder negativamente ao estímulo.

Desta forma, ainda são necessários mais estudos para ajustar a iluminação artificial de luz (intensidade, comprimento de onda e duração) de forma promover melhorias nas características morfológicas do milho. Estabelecer o melhor espectro, a densidade de fluxo de fótons e o fotoperíodo são de grande importância, uma vez que, influenciam na produtividade da cultura e a qualidade do produto (KELLY et al., 2020; ZAKURIN et al., 2020).

#### **4 CONCLUSÃO**

Conclui-se que, nas condições desse estudo, tanto a suplementação luminosa a noite toda na safra quanto 4 horas de luz por noite na safrinha afetam o crescimento e desenvolvimento do milho, atrasando o ciclo da cultura.

Os tempos de exposição da luz na simulação do pivô (20", 40", 80" e 160") pouco influenciaram a fenologia e características morfológicas do milho. Desta forma, a não utilização de luz suplementar constitui a melhor forma de manejo da cultura.

No entanto, estudos adicionais envolvendo a qualidade, intensidade e duração da luz podem fornecer uma perspectiva para o uso da suplementação luminosa no milho.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C.; AMARAL, A.L.; BARBOSA NETO, J.F.; SERENO, M.J.C.M. Conservação e germinação in vitro de pólen de milho (*Zea mays* subsp. *mays*). Revista Brasil, Jaboticabal, v.34, n.4, p.493-497, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000400003>.
- ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L.; NAVA, I. C.; GALIO, J.; TRENTIN, P. S.; RAMPAZZO, C. Crescimento inicial de milho e sua relação com o rendimento de grãos. Cienc. Rural, v. 33, n. 2, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000200002>
- BALDISSERA, L.; PASTORE, I.; NACHTIGALL, G. R.; PADILHA, A. S. Uso de luz artificial suplementar na produção de mini tubérculo de batata semente. FICE - 11ª feira de iniciação científica, IF Catarinense, Campus Videira, 8 p., 2022.
- 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 Horticulture, v. 235, p. 437-451, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.058>.
- BARROS, J.F.C.; CALADO, J.G. Cultura do milho. Évora: Universidade de Évora, 2014.
- BELLO-BELLO, J. J.; MARTÍNEZ-ESTRADA, E.; CAAMAL-VELÁZQUEZ, J. H.; MORALES-RAMOS, V. Effect of LED light quality on in vitro shoot proliferation and growth of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews). African Journal of Biotechnology, v. 15, n.8, p. 272–277, 2016. <https://doi.org/10.5897/AJB2015.14662>.
- CAVICHIOLO, J. C.; RUGGIERO, C.; VOLPE, C. A. Caracterização físico-química de frutos de maracujazeiro-amarelo submetidos à iluminação artificial, irrigação e sombreamento Rev. Bras. Frutic., v. 30, n. 3, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000300015>
- CAVICHIOLO, J. C.; RUGGIERO, C.; VOLPE, C. A.; PAULO, E. M.; FAGUNDES, J. L.; KASAI, F. S. Florescimento e frutificação do maracujazeiro-amarelo submetido à iluminação artificial, irrigação e sombreamento. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 28, n. 1, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452006000100026>
- CHEN, X.; TIAN, R.; SHEN, L.; YIN, Y.; ZHU, L.; HUIJUAN JIA, H. Effect of the blue-red light ratio in supplemental light-emitting diode on pitaya flower bud differentiation and fruit quality, Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Science), v. 45, n.1, p. 14-22, 2018. <https://doi.org/10.3785/j.issn.1008-9209.2018.02.261>

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 10 - Safra 2022/23, n. 6, Sexto levantamento, Brasília, p. 1-96, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 13 mar. 2023.

COSTA, S. I.; FERREIRA, L. V.; BARRETO, C. F.; VIGNOLO, G. K.; REISSER JUNIOR, C.; ANTUNES, L. E. C. Suplementação de Luz na Indução do Florescimento de Morangueiro Cultivado em Sistema Fora de Solo. Embrapa Clima Temperado (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518; 322), 17 p., 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/206335/1/Boletim-322.pdf>.

Acesso em: 10 set. 2020.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; MATRANGOLO, W. J. R.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. Cultivo do Milho. Embrapa Milho e Sorgo Sistemas de Produção, Versão Eletrônica - 6<sup>a</sup> edição Set./2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27037/1/Plantio.pdf>. Acesso em: 10 set. 2020.

DEKALB. Disponível em: <https://www.dekalb.com.br>. Acesso em: 13 mar. 2023.

DÖRR, O. S.; BREZINA, S.; RAUHUT, D.; MIBUS, H. Plant architecture and phytochemical composition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under the influence of light from microwave plasma and high-pressure sodium lamps. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, v. 202, n. 111678, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111678>

EMBRAPA MILHO E SORGO. Cultivo do Milho – Dados do Sistema de Produção. Brasília: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 331p. (Sistema de Produção, 1.).

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. USDA.gov - United States Department of Agriculture. Disponível em: <http://www.usda.gov>. Acesso em: 13 mar. 2023.

ETAE, N.; WAMAE, Y.; KHUMMUENG, W.; UTAIPAN, T.; RUANGRAK, E. Effects of artificial light sources on growth and phytochemicals content in green oak lettuce. Hortic. Bras., v. 38, n. 2, 2020. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620200213>

FANCELLI, A. L. Ecofisiologia, Fenologia e Implicações básicas de manejo. In: Milho: do plantio à colheita. 2. ed. atual. e ampl. Viçosa: UFV. 2017. p. 50-56.

GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. Milho do plantio à colheita. 2. ed.

Viçosa, MG: Editora Ufv, 382 p., 2017.

HARAKOTR, B.; SRIJUNTEUK, S.; RITHICHAI, P.; TABUNHAN, S. Effects of Light-Emitting Diode Light Irradiance Levels on Yield, Antioxidants and Antioxidant Capacities of Indigenous Vegetable Microgreens. *Science & Technology Asia*, v. 24, n. 3, p. 59-66, 2019.

HEDDEN, P.; THOMAS, S. G. The gibberellins. *Annual Plant Reviews*. Oxford: Wiley Blackwell, p. 492., 2016.

IZZO, L. G.; MELE, B. H.; VITALE, L.; VITALE, E.; ARENA, C. The role of monochromatic red and blue light in tomato early photomorphogenesis and photosynthetic traits. *Environmental and Experimental Botany*, v. 179, p. 104-195, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104195>

KELLY, N.; CHOE, D.; MENG, Q.; RUNKLE, E. S. Promotion of lettuce growth under an increasing daily light integral depends on the combination of the photosynthetic photon flux density and photoperiod. *Scientia Horticulturae*, v. 272, n. 1, p. 109-565, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109565>.

KERBAUY, G.B. *Fisiologia Vegetal 3ª Edição*, Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 420 p., 2019.

KÖPPEN, W. *Climatologia*. Tradução: Pedro R. H. Perez. Buenos Aires, Panamericana, 1948. 478p.

LANDI, M.; ZIVCAK, M.; SYTAR, O.; BRESTIC, M.; SULEYMAN I ALLAKHVERDIEV, S. I. Plasticity of photosynthetic processes and the accumulation of secondary metabolites in plants in response to monochromatic light environments: A review. *Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics*, v. 1861, n. 2, p. 131 - 148, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2019.148131>.

LI, L.; TONG, Y.; LU, J.; LI, Y.; YANG, Q. Lettuce Growth, Nutritional Quality, and Energy Use Efficiency as Affected by Red-Blue Light Combined with Different Monochromatic Wavelengths. *HortScience*, v. 55, n. 5, p. 613-620, 2020. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14671-19>

LIU, W.; ZHA, L.; ZHANG, Y. Growth and Nutrient Element Content of Hydroponic Lettuce are Modified by LED Continuous Lighting of Different Intensities and Spectral Qualities. *Agronomy*, v. 10, n. 11, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111678>

MACHADO, J. T. M.; TONIN, J.; SOBUCKI, L.; ROHRIG, B.; VIGNOLO, G.; BETEMPS, D. L.; SCHNEIDER, E. P. Desempenho de morangueiro frente a diferentes espectros de radiação artificial complementar em cultivo sem solo. *Revista de Ciências*

Agroveterinárias, v. 17, n. 3, p. 309-317, 2018.

<https://doi.org/10.5965/223811711732018309>

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Fisiologia da Produção de Milho. Circular técnica, 10 p., 2006. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/490408/1/Circ76.pdf>. Acesso

em: 13 nov. 2022.

MANIVANNAN, A., SOUNDARARAJAN, P., HALIMAH, N., KO, C. H. 2015. Blue LED light enhances growth, phytochemical contents, and antioxidant enzyme activities of *Rehmannia glutinosa* cultured in vitro. Horticulture Environment and Biotechnology, v. 56, n.1, p. 105–113. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0114-1>.

MATOS, F.S.; BORGES, L. P.; AMARO, C. L.; DE OLIVEIRA, D. B.; DO CARMO, M. S.; TORRES JUNIOR, H. D. Folha Seca: Introdução à Fisiologia Vegetal. 1ª ed. Curitiba, PR: Appris, 2019. 189 p.

NAIR, I.; MAZUMDARA, P.; SINGHA, P.; RENGASAMY, N.; HARIKRISHNA, J. A. Increasing the Ratio of Blue to Red Light Improves Growth And Phytochemical Content in *Hydrocotyle bonariensis* L. Russian Journal of Plant Physiology, 2021, v.68, n.2, p. 337-346. <https://doi.org/10.1134/S1021443721020126>.

NISSIM-LEVI, A.; KITRON, M.; NISHRI, Y.; OVADIA, R.; FORER, I.; OREN-SHAMIR, M. Efeitos das luzes LED azul e vermelha no crescimento e floração de *Chrysanthemum morifolium*. Scientia Horticulturae, v. 254, p. 77-83, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.080>.

PALMITESSA, O. D.; LEONI, B.; MONTESANO, F. F.; SERIO, F.; SIGNORE, A.; SANTAMARIA, P. Supplementary Far-Red Light Did Not Affect Tomato Plant Growth or Yield under Mediterranean Greenhouse Conditions. *Agronomy*, v. 10, n. 12, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121849>

RECHNER, O.; NEUGART, S.; SCHREINER, M.; WU, S.; POEHLING, H. M. Different narrow-band light ranges alter plant secondary metabolism and plant defense response to aphids. *Journal of Chemical Ecology*, v.42, n.10, p.1-15, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10886-016-0755-2>.

SOLEYMANI, A. Corn (*Zea mays* L.) yield and yield components as affected by light properties in response to plant parameters and N fertilization. *Biocatálise e Biotecnologia Agrícola*, v. 15, p. 173-180, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.06.011>.

SON, K.; JEON, Y.; OH, M. Application of supplementary white and pulsed light-

emitting diodes to lettuce grown in a plant factory with artificial lighting, Horticulture, Environment, and Biotechnology, v. 57, p. 560-572, 2016. <https://doi.org.ez35.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s13580-016-0068-y>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. Ed. Porto Alegre: Artmed, 918 p., 2017.

URAIRI, C., SHIMIZU, H., NAKASHIMA, H., MIYASAKA, J., E OHDOI, K. Optimization of lightdark cycles of *Lactuca sativa* L. in plant factory. Environmental Control in Biology, v. 55, n. 2, p. 85-91, 2017. <https://doi.org/10.2525/ecb.55.85>.

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. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.6.734>

WU, C. C.; CHANG, M. Y.; LIANG, F. J. Effects of supplemental light quality on growth and fruit quality of tomato “Harvest II”. 2015.

YAN, W.; ZHANG, Y.; ZHANG, Y.; CHENG, R.; ZHANG, Y.; YANG, Q.; LI, T. Effects of Supplementary Artificial Light on Growth of the Tomato (*Solanum lycopersicum*) in a Chinese Solar Greenhouse, v. 87, n. 4, n. 516-523, 2018. <https://doi.org/10.2503/hortj.OKD-165>

ZAKURIN; A. O.; SHCHENNIKOVA; A. V.; KAMINSKAYA; A.M. Artificial-light culture in protected ground plant growing: Photosynthesis, photomorphogenesis, and prospects of led application. Russian Journal of Plant Physiology 67:413-424, 2020. <https://doi.org/10.1134/S102144372003022X>.

ZHANG, S.; MA, J.; ZOU, H.;ZHANG, L.;LI, S.; WANG, Y. The combination of blue and red LED light improves growth and phenolic acid contents in *Salvia miltiorrhiza* Bunge, v.158, n. 112959, 2020. <https://doi.org.ez35.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.indcrop.2020.112959>

ZHENG, L.; VAN LABEKE, M. C. Effects of diferent irradiation levels of light quality on Chrysanthemum. Sci Hortic v. 233, p. 124–131, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.033>

ZOTOV, V. S.; BOLYCHEVTSEVA, Y. V.; KHAPCHAEVA, S. A.; TEREKHOVA, I. V.; SHUBIN, V. V.; YURINA, N. P.; KULCHIN, Y. N. Effect of Light Quality on the Biomass Yield, Photosystem 2 Fluorescence, and the Total Essential Oil Content of *Ocimum basilicum*. Appl Biochem Microbiol, v. 56, p. 336-343, 2020. <https://doi.org.ez35.periodicos.capes.gov.br/10.1134/S0003683820030175> .

## **CAPÍTULO II - COMPONENTES DE RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE DE MILHO SUBMETIDO A DIFERENTES TEMPOS DE SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA ARTIFICIAL COM LED**

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da iluminação artificial sobre a produtividade do milho (*Zea mays* L.), com LEDs, simulando a tecnologia via pivô central de irrigação na safra (verão) e na safrinha (verão/outono). Foram instalados na área, suportes de madeira com módulos de LED (MÓDULO 48L FNLE HORT PINK 25% BLUE 90º 250X71X37MM 76,5VDC 54W), com diferentes tempos de suplementação luminosa, simulando a passagem do pivô central (tempo/m<sup>2</sup>) (flashes por noite) sendo fornecidos todas as noites. Foram realizados dois ciclos de avaliação: na safra (2021/22) (sem luz suplementar, 20”, 40”, 80”, 160” e com luz suplementar a noite toda) e na safrinha (2022) (sem luz suplementar, 20”, 40”, 80”, 160” e 4h de luz suplementar). Em ambos os ciclos de avaliação, foram realizadas as análises de prolificidade, peso de espiga com palha, peso de espiga sem palha, comprimento de espiga, diâmetro de espiga, número de fileiras de grãos, número de grãos por fileira e produtividade. Na safra também foi possível obter o peso de 1000 grãos e peso médio de espiga. Na safra, todas as variáveis analisadas foram inferiores no tratamento de luz suplementar a noite toda. Na safrinha, somente a variável peso de espiga com palha foi afetada pelos tempos de suplementação luminosa, sendo o tratamento de 20” aquele que apresentou maior valor. Além disso, maiores tempos de suplementação luminosa (160 segundos de luz suplementar por noite e noite toda na safra e 4 horas de luz suplementar por noite na safrinha) influenciam negativamente a cultura, reduzindo a produtividade do milho. Com relação aos tempos de luz suplementar em segundos, em ambos os ciclos de avaliação, nota-se que os mesmos não promoveram diferenças na produtividade do milho. Porém, afetam alguns componentes de produção, tais como diâmetro de espiga (safra) e prolificidade (safrinha), de modo que o tratamento com 20” tende a apresentar maiores médias. Conclui-se que, nas condições deste estudo, maiores tempos de luz suplementar afetam negativamente a produtividade do milho. A não utilização da suplementação luminosa constitui o melhor manejo da cultura.

Palavras-chave: Diodos Emissores de luz. Iluminação Artificial. *Zea mays*.

## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the influence of artificial lighting on the productivity of corn (*Zea mays* L.), with LEDs, simulating the technology via center pivot irrigation in the harvest (summer) and in the off-season (summer/autumn). Wooden supports with LED modules (MODULE 48L FNLE HORT PINK 25% BLUE 90° 250X71X37MM 76.5VDC 54W) were installed in the area, with different times of light supplementation, simulating the passage of the central pivot (time/m<sup>2</sup>) (flashes per night) being provided nightly. Two evaluation cycles were carried out: in the harvest (2021/22) (without supplementary light, 20", 40", 80", 160" and with supplementary light all night) and in the off-season (2022) (without supplementary light, 20", 40", 80", 160" and 4h of supplementary light). In both evaluation cycles, analyzes of prolificacy, ear weight with straw, ear weight without straw, ear length, ear diameter, number of grain rows, number of grains per row and productivity were performed. In the harvest, it was also possible to obtain the weight of 1000 grains and the average weight of the ear. In the season, all the variables analyzed were lower in the all-night supplemental light treatment. In the off-season, only the variable ear weight with straw was affected by the times of light supplementation, with the 20" treatment showing the highest value. In addition, longer times of light supplementation (160 seconds of supplemental light per night and all night in the season and 4 hours of supplemental light per night in the off-season) negatively influence the crop, reducing corn productivity. Regarding the times of supplementary light in seconds, in both evaluation cycles, it is noted that they did not promote differences in corn productivity. However, they affect some production components, such as ear diameter (crop) and prolificacy (safrinha), so that the treatment with 20" tends to present higher averages. It is concluded that, under the conditions of this study, longer periods of supplemental light negatively affect corn productivity. The non-use of light supplementation constitutes the best crop management.

Keywords: Light Emitting Diodes. Artificial Lighting. *Zea mays*.

## 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) pertencente à família Poaceae, originária do Continente Americano, apresenta diversificadas funções no mercado externo e interno, sendo utilizado na alimentação humana e animal, além de ser matéria prima para a indústria (ROSSINI et al., 2020).

De acordo com levantamento da safra mundial de milho pelo USDA (2023), os Estados Unidos é o maior produtor mundial, seguido pela China e Brasil. Apesar de a produtividade brasileira ser bastante inferior à dos dois maiores produtores, estima-se que a produção deverá atingir 124,6 milhões de toneladas para a safra 2022/23, com uma produtividade de 5.767 Kg por hectare, enquanto que a média das expectativas para a safra 2022/23 nos Estados Unidos é 378,7 milhões de toneladas, com uma produtividade de 10.967 Kg por hectare (CONAB, 2023).

A máxima capacidade produtiva de grãos está relacionada com fatores genéticos e fatores edafoclimáticos. A luz solar está entre os parâmetros ambientais mais importantes que afetam a eficiência das plantas (SOLEYMANI, 2018), uma vez que, modifica as características morfológicas, anatômicas e fotossintéticas, impedindo a planta de alcançar seu máximo potencial produtivo (RECHNER et al., 2016). E quando comparado com países temperados, o Brasil apresenta menor número de horas luz durante o dia. Os Estados Unidos, por exemplo, apresentam, em algumas regiões, 3 horas de luz a mais que o Brasil, favorecendo excelentes produtividades, sobretudo do milho.

Por ser uma planta de mecanismo fotossintético C4, o milho apresenta alta eficiência na utilização de luz e CO<sub>2</sub>, o que lhe confere alta produtividade biológica (FANCELLI, 2017), sendo adaptado a ambientes quentes e com alta luminosidade. Essa cultura é considerada uma planta fotoneutra (isto é, sem resposta ao fotoperíodo) ou de dias curtos. No entanto, o milho responde com altos rendimentos à medida que aumenta a intensidade luminosa (GALVÃO, BORÉM e PIMENTEL, 2017).

Por outro lado, a redução de luz na cultura (30% a 40%) retarda sua maturação. A maior sensibilidade é verificada no período próximo à fase reprodutiva, ou seja, naquele correspondente à emissão da 12/14ª folha até grãos leitosos. Nessa fase, a redução da disponibilidade de radiação luminosa pode provocar abortamento de grãos, mesmo após fertilizados, reduzindo drasticamente o número e a densidade dos

grãos (massa específica) (FANCELLI, 2017).

Dessa forma, a suplementação luminosa artificial tem sido usada para simular a luz solar, de forma a manter o fluxo de luz constante e aumentar a produtividade de plantas (BANTIS et al., 2018). Os rápidos avanços na tecnologia de iluminação levaram a um maior número de opções de iluminação disponíveis para a agricultura (NAIR et al., 2021).

Entretanto, a maior parte dos trabalhos com suplementação luminosa têm sido realizados em cultivo protegido em países de alta latitude, como grande parte da Ásia, Europa e Canadá, onde a iluminação suplementar tem sido utilizada de forma a aumentar a fotossíntese e o rendimento das plantas, principalmente no inverno. No Brasil em campo, essa tecnologia tem sido pouco explorada.

Em campo, a suplementação de luz pode ser fornecida durante a noite, juntamente com o turno de rega via pivô central de irrigação. No entanto, sabe-se que cada torre do pivô tem velocidade diferente, podendo ocasionar desuniformidade da irrigação com luz. Segundo os dados fornecidos pelo engenheiro agrônomo Leonardo Miranda da Empresa ICrop, informação pessoal, sobre pivô de 100 hectares com 50% de aplicação, a torre da base irriga uma área de 7.172,05 m<sup>2</sup> e gasta, em média, 2,62 minutos para percorrer 1 m<sup>2</sup>, necessitando de 13,1 horas para completar tempo da circunferência a 100%. Por outro lado, a torre mais próxima da ponta irriga uma área de 136.308,54 m<sup>2</sup> e gasta, em média, 13,72 segundos para percorrer 1 m<sup>2</sup> (Apêndice A).

Não existe na literatura avaliação da performance das plantas de milho, com suplementação luminosa com LEDs em pivô central, em campo. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da suplementação luminosa sobre a produtividade da cultura do milho com LEDs, simulando a tecnologia via pivô central de irrigação na safra (verão) e na safrinha (verão/outono).

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização da área experimental**

O experimento foi realizado em condições de campo na Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada em Viçosa – MG (latitude = 20 ° 45 ' ; longitude = 42 ° 51 ' )

em dois ciclos de avaliação na safra (entre os meses de outubro/2021 a abril/2022) e na safrinha (abril/2022 a agosto/2022). Segundo a classificação climática de Köppen (1948) o clima da região é caracterizado como tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno.

Foram coletadas, antes da implantação dos ciclos de avaliação, 10 amostras simples de solo (0 - 20 cm), para formar uma amostra composta. A mesma foi encaminhada para o Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante da Universidade Federal de Viçosa – campus Viçosa. As características da análise química estão dispostas na tabela 1.

**Tabela 1:** Caracterização química do solo.

pH	P	K	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	H+Al	
H <sub>2</sub> O	----- mg/dm <sup>3</sup> -----		----- cmmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----				
6,55	59,9	182	4,70	1,35	0,00	3,4	
CTC <sub>EF</sub>	CTC <sub>T</sub>	SB	M	v	N-total	MO	P-Rem
----- cmmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----		----- % -----		----- dag/kg -----		----- mg/dm <sup>3</sup> -----	
6,53	9,93	6,53	0,0	65,8	0,126	2,69	28,6

pH em água; KCl e CaCl - Relação 1:2,5; P - K - Extrator Mehlich-1; Ca<sup>2+</sup> - Mg<sup>2+</sup> - Al<sup>3+</sup> - Extrator KCl - 1 mol/L; H+Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; CTC<sub>EF</sub> - Capacidade de Troca de Catiônica efetiva; CTC<sub>T</sub> - Capacidade de Troca de Catiônica a pH 7,0; SB - Soma de Base Trocáveis; m – índice de saturação por alumínio; v – índice de saturação por bases; N-total – Nitrogênio; Mat. Org. (MO) - C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem – Fósforo Remanescente.

## 2.2 Instalação dos tratamentos

Para a suplementação luminosa, foram utilizados módulos de LED de 25 cm de comprimento e 7,1 cm de largura, adquiridos da empresa Audax Electronics, dispostos na horizontal em refletores juntamente com seus respectivos drivers (Figura 1). O módulo (MÓDULO 48L FNLE HORT PINK 25% BLUE 90° 250X71X37MM 76,5VDC 54W) é composto por LEDs nas cores vermelho (~660nm) (75%) e azul (~450nm) (25%). A taxa de fluxo de fótons dos módulos é de 400  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  e o consumo de 54 W.

O sistema era acionado por um quadro de comando automático (Figura 2) e o tratamento com suplementação luminosa a noite toda era acionado por um relé

fotocélula, no qual ligava e desligava a partir da quantidade de luz no ambiente, ou seja, no anoitecer e amanhecer, respectivamente.

O conjunto (LED + refletor) foi instalado em suportes de madeira, situado no centro da parcela, numa altura de 3 metros, simulando a altura do pivô (Figura 3). Para tanto, foi utilizado um módulo por parcela. Cada parcela consistia em 10 fileiras de 5 metros espaçadas de 0,5 m, formando uma área de 25 m<sup>2</sup>.

Conforme mostra a Figura 4, os tratamentos com suplementação luminosa não afetavam o tratamento sem suplementação, uma vez que a luz incidia somente dentro da parcela a ser iluminada. O mesmo acontecia para os diferentes tempos de suplementação luminosa.



Figura 1: Disposição da lâmpada de LED e seu respectivo driver no refletor, utilizados para a suplementação luminosa em plantas de milho (*Zea mays*). Fonte: Patricia Carvalho, 2021.

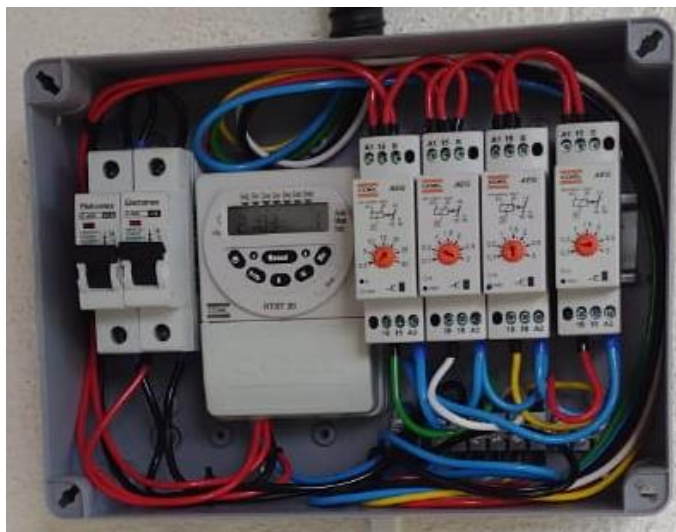


Figura 2: Quadro de comando automático. Fonte: Patricia Carvalho, 2021.

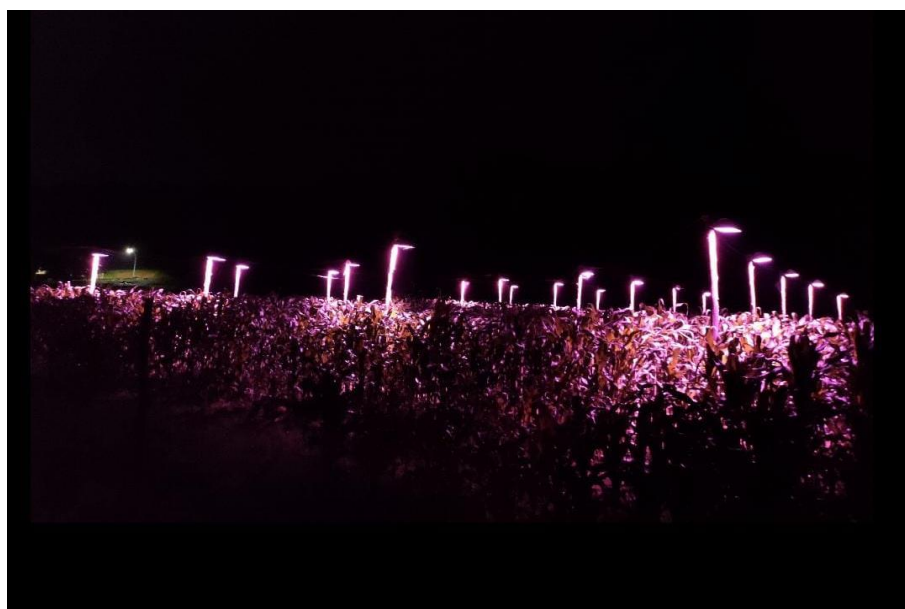


Figura 3: Cultivo de milho com iluminação suplementar de LED em suportes de madeira simulando a tecnologia em pivô. Fonte: acervo da autora, 2021. Fonte: Patricia Carvalho, 2021.

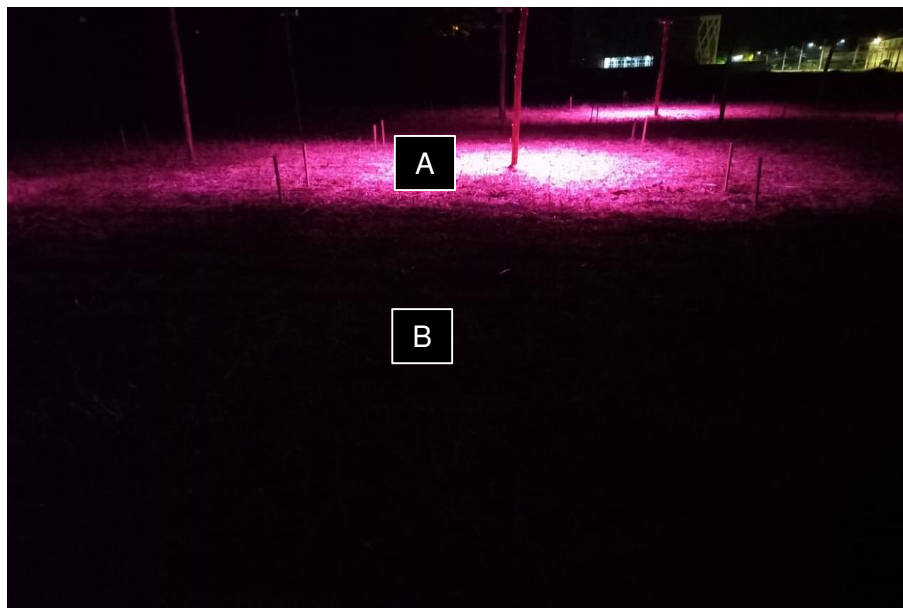


Figura 4: Parcela com (A) e sem (B) suplementação luminosa. Fonte: Patricia Carvalho, 2021.

### 2.2.1 Primeiro ciclo de avaliação – Safra

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. No primeiro plantio (safra) os tratamentos foram: sem iluminação suplementar; LED com 20 segundos de luz por noite; LED com 40 segundos de luz por noite; LED com 80 segundos de luz por noite; LED com 160 segundos de luz por noite; e LED aceso a noite toda.

Foi aplicado na área cinco litros por hectare de glifosato e um litro por hectare de 2,4-D, para a dessecação (16 de outubro de 2021). A semeadura do milho foi realizada no dia 28 de outubro de 2021, utilizando sementes do híbrido DKB335PRO3. Esse híbrido possui ciclo precoce, grão semidentado e atinge altura média de 2,29 m (DEKALB, 2023). Para tanto, foram plantadas 5 sementes por metro linear, espaçadas a 0,50 metros. Após o desbaste, foram mantidas 3 sementes por metro, totalizando 60.000 plantas/hectare. A adubação de semeadura foi de 400 kg por hectare do fertilizante NPK na fórmula 8 28 16.

A suplementação luminosa teve início no dia 08 de novembro de 2021, quando as plantas estavam no estágio fenológico V1 (com uma folha completamente formada), sendo fornecida todas as noites, durante todo o ciclo da cultura. Os tratamentos 20, 40, 80 e 160 segundos de luz receberam a suplementação luminosa

às 21 horas (quebra da noite). Já no tratamento à noite toda, a suplementação iniciava ao anoitecer e permanecia ligada até o amanhecer, utilizando sensor.

No estágio vegetativo V3 (com três folhas completamente desenvolvidas) realizou-se o controle de plantas daninhas, aplicando 4 L/ha de glifosato. Foi realizada a adubação de cobertura, utilizando 150 Kg/ha de nitrogênio (N) na forma de ureia.

No estágio vegetativo V8 (com oito folhas completamente desenvolvidas) foram feitas mensurações da taxa de fluência de fótons incidente sobre as plantas por meio do aparelho radiômetro (AccuPAR PAR/LAI Ceptometer modelo LP-80). Para tanto, foram feitas medições próxima ao refletor (A), numa porção mediana (B) e na altura das plantas (1,20 m) (C), obtendo os valores  $396,75 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ,  $38,25 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ,  $15,25 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , respectivamente (Figura 5).

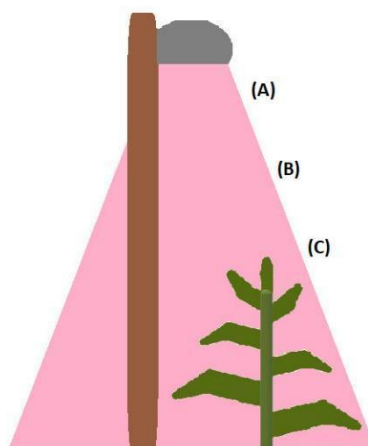


Figura 5: Altura de mensuração da taxa de fluência de fótons com o radiômetro. (A) próxima ao refletor, (B) porção mediana e (C) altura das plantas no estágio V8 (1,20 metros).

Observa-se que a taxa de fluência de fótons que atingia as plantas nesse estágio, com altura média de 1,20 m, é muito baixa, dado que a taxa máxima de fluência de fótons existentes sobre a superfície da Terra é de  $2000 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  em um dia de pleno sol (TAIZ et al., 2017). Portanto, próximo ao refletor a taxa de fluência de fótons era de 19,8% da existente na superfície da Terra, na porção mediana era de 1,9% e na altura das plantas em V8 era de 0,76%.

### 2.2.2 Segundo ciclo de avaliação – Safrinha

O segundo ciclo de avaliação baseou-se nos resultados do experimento

anterior, que não obteve incrementos em produtividade no tratamento com luz suplementar a noite toda. Portanto, em substituição a este, foi definido um novo tratamento. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Os tratamentos foram: sem iluminação suplementar; LED com 20 segundos de luz por noite; LED com 40 segundos de luz por noite; LED com 80 segundos de luz por noite; LED com 160 segundos de luz por noite; e LED com 4 horas de luz por noite (simulando um dia longo).

A semeadura do milho foi realizada no dia 11 de abril de 2022, utilizando sementes do híbrido DKB380PRO3. Esse híbrido possui ciclo precoce, grão semiduro e atinge altura média de 2,33 m (DEKALB, 2023). Para tanto, foram plantadas 5 sementes por metro linear, espaçadas a 0,50 metros. Após o desbaste, foram mantidas 2,5 sementes por metro, totalizando 50.000 plantas/hectare. A adubação de semeadura foi de 200 kg por hectare do fertilizante NPK na fórmula 8 28 16.

O controle de plantas daninhas foi realizado aplicando na área dois litros por hectare de glifosato para a dessecação (12 de abril de 2022). No estágio vegetativo V4 (com quatro folhas completamente desenvolvidas) foi realizada a adubação de cobertura, utilizando 100 Kg/ha de N na forma de ureia. Além disso, também em V4, foi necessário efetuar o controle da cigarrinha (*Dalbulus maidis*), utilizando 750 mililitros por hectare do produto comercial Connect. Já em V5 (com cinco folhas completamente desenvolvidas) realizou-se o controle de plantas daninhas, utilizando três litros por hectare de glifosato.

A suplementação luminosa teve início no dia 18 de maio de 2022, quando as plantas apresentavam 5 folhas completamente formadas (V5), sendo fornecida todas as noites, permanecendo até 23 de agosto de 2022, somando 97 dias de suplementação luminosa. Os tratamentos 20, 40, 80 e 160 segundos de luz receberam a suplementação luminosa às 21 horas. Já no tratamento 4 horas de luz por noite, a suplementação iniciava às 18 horas e encerrava às 22 horas.

Em razão da falta de suportes (tripés) para os aspersores na unidade experimental, a irrigação das plantas foi realizada apenas na fase vegetativa.

### **2.3 Variáveis Climáticas**

Os dados climáticos como temperaturas máxima, média e mínima (°C),

umidades máxima, média e mínima (%), radiação acumulada (KJ/m<sup>2</sup>) e precipitação acumulada (mm), registradas por decênio durante o período de condução dos ciclos de avaliação (safra e safrinha) pela Estação Climatológica Principal de Viçosa, encontram-se dispostos nas figuras 6, 7, 8 e 9, respectivamente. A Estação Climatológica Principal de Viçosa está localizada no Departamento de Engenharia Agrícola a aproximadamente 700 metros da área experimental.

A Figura 6 apresenta a variação das temperaturas máximas, médias e mínimas do ar, por decênio, em todo o período de condução dos ciclos de avaliação. A faixa de temperatura média durante a safra variou de 16,6 a 27,1 °C e de 11,6 a 22,5 °C na safrinha.

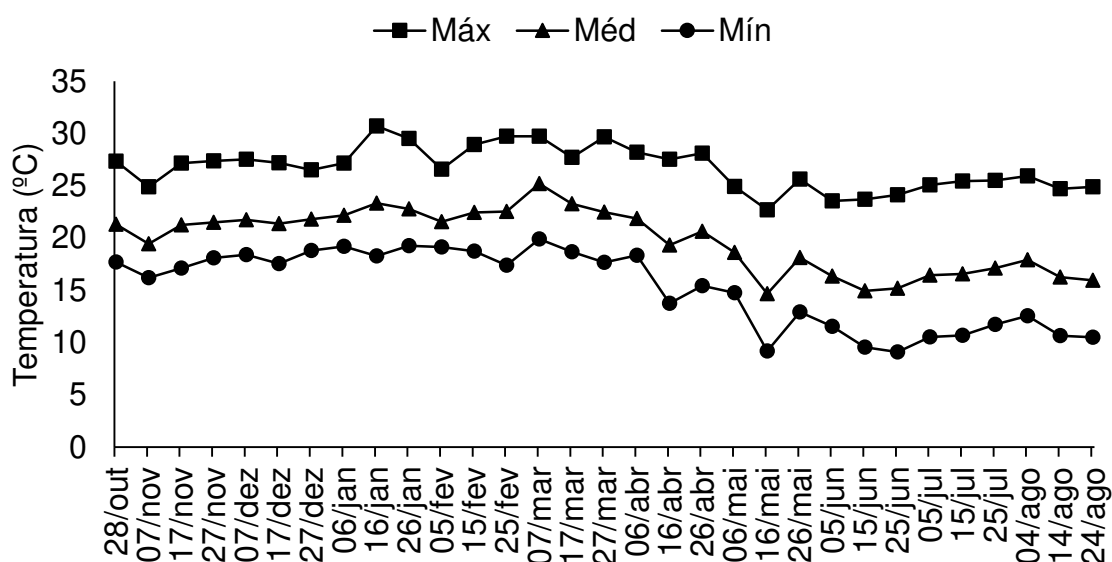


Figura 6: Temperaturas máxima, média e mínima (°C) registradas, por decênio, durante o período de condução dos ciclos de avaliação, de outubro de 2021 a agosto de 2022 em Viçosa – MG. Fonte: Boletim meteorológico - UFV - Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa – MG.

A Figura 7 apresenta a variação das umidades máximas, médias e mínimas do ar, por decênio, em todo o período de condução dos ciclos de avaliação. A faixa de umidade média durante a condução da safra variou de 61,6 a 95,8 % e de 66,1 a 92,8 % na safrinha.

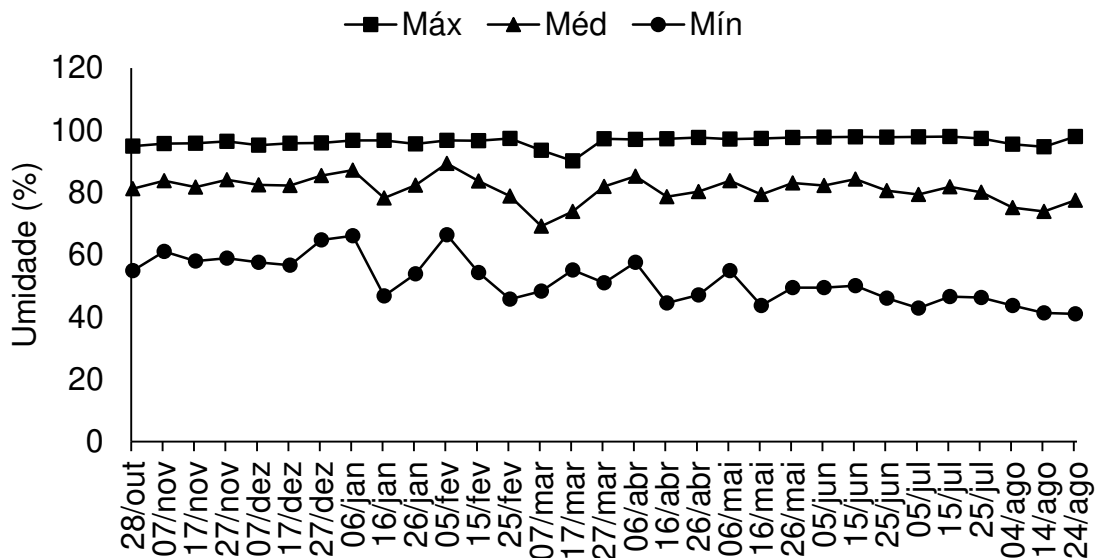


Figura 7: Umidades máxima, média e mínima (%) registradas, por decêndio, durante o período de condução dos ciclos de avaliação, de outubro de 2021 a agosto de 2022 em Viçosa – MG. Fonte: Boletim meteorológico - UFV - Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa – MG.

A Figura 8 apresenta a radiação acumulada, por decêndio, em todo o período de condução dos ciclos de avaliação. A faixa de radiação solar durante a condução da safra variou de 1928,08 a 29277,35  $\text{KJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , com uma média de 16960,59  $\text{KJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ . Já na safrinha, a faixa de radiação solar variou de 4449,3 a 21407,6  $\text{KJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , com uma média de 13161,81  $\text{KJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ .

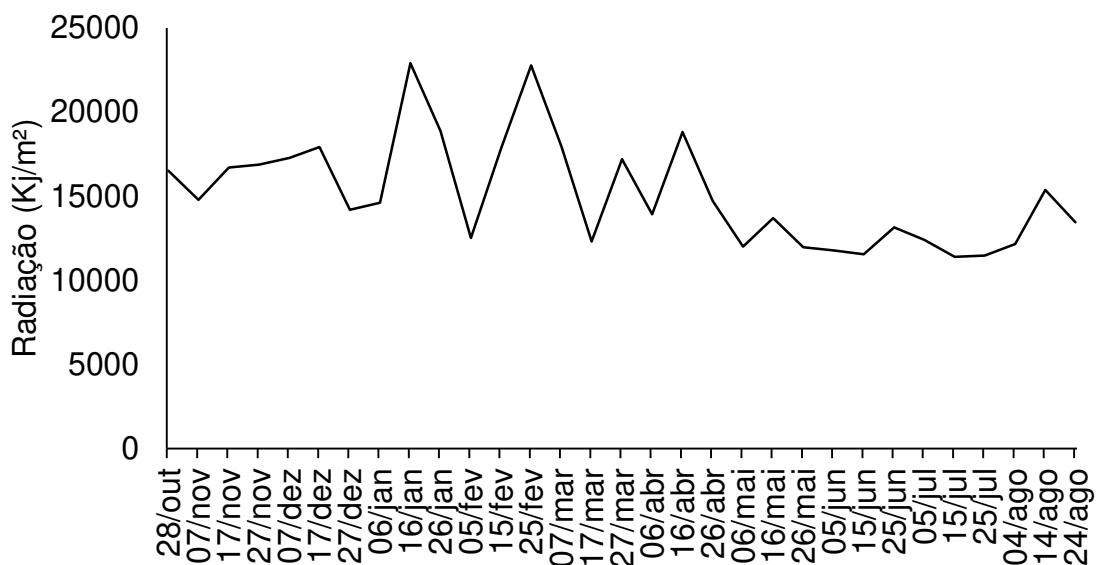


Figura 8: Radiação acumulada ( $\text{KJ/m}^2$ ) registrada, por decêndio, durante o período de condução dos ciclos de avaliação, de outubro de 2021 a agosto de 2022 em Viçosa – MG. Fonte: Boletim meteorológico - UFV - Departamento de Engenharia Agrícola.

Estação Climatológica Principal de Viçosa – MG.

A Figura 9 apresenta a variação da precipitação acumulada, por decêndio, em todo o período de condução dos ciclos de avaliação. Durante a safra a média de precipitação foi de 8,41 mm.dia<sup>-1</sup>. Por outro lado, na safrinha, a média de precipitação foi de 0,34 mm.dia<sup>-1</sup>, o que foi amenizado com irrigação suplementar.

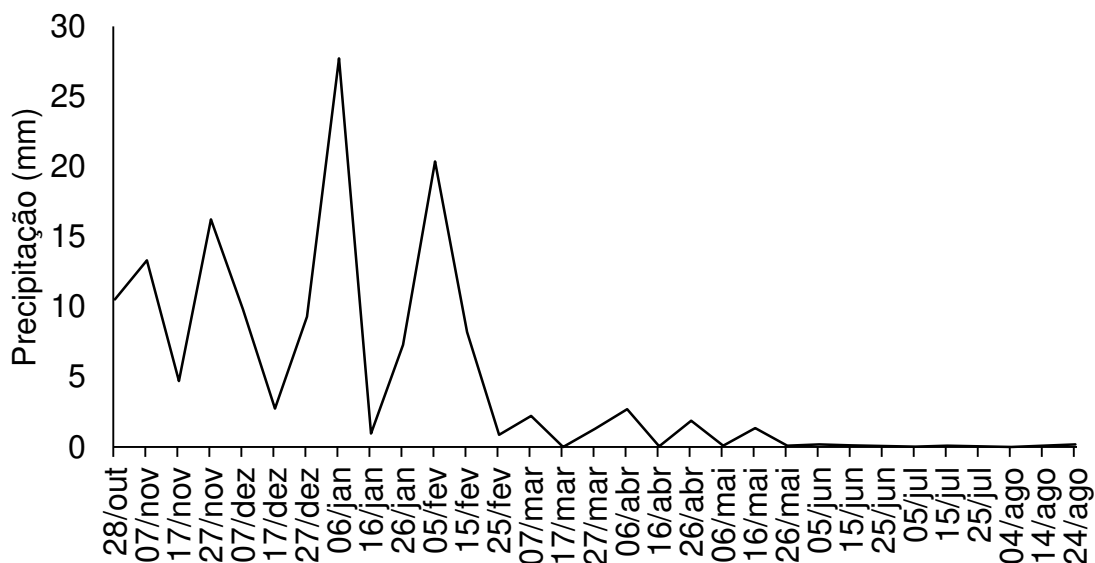


Figura 9: Precipitação acumulada (mm) registrada, por decêndio, durante o período de condução dos ciclos de avaliação, de outubro de 2021 a agosto de 2022 em Viçosa – MG. Fonte: Boletim meteorológico – UFV - Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa – MG.

## 2.4 Características avaliadas

As avaliações dos componentes de produção, em ambos os ciclos de avaliação (safra e safrinha), foram realizadas em plantas dispostas nas duas fileiras centrais da parte da frente do poste, numa área de 2 m<sup>2</sup> (12 plantas na safra e 10 plantas na safrinha). Na safra, as avaliações aconteceram na maturidade fisiológica, enquanto que, na safrinha, as avaliações foram feitas no estágio de grão leitoso/pastoso (R3/R4) devido ao ataque de maritacas.

Desta forma, foram medidas:

- Prolificidade (PROLF): dado pelo número de espigas colhidas na área útil de 2 m<sup>2</sup> dividido pelo número de plantas;

- Peso de espiga com palha (PECP): com utilização de balança digital, sendo pesadas todas as espigas colhidas na área útil de 2 m<sup>2</sup>;
- Peso de espiga sem palha (PESP) com utilização de balança digital, sendo pesadas todas as espigas colhidas na área útil de 2 m<sup>2</sup>;
- Comprimento de espiga (CE): média de 5 espigas ao acaso colhidas na área útil de 2 m<sup>2</sup>, utilizando régua graduada em centímetros;
- Diâmetro de espiga (DE): média de 5 espigas ao acaso colhidas na área útil de 2 m<sup>2</sup>, com auxílio de paquímetro digital;
- Número de fileiras de grãos (NF): por contagem, média das mesmas espigas que foram medidos o comprimento e diâmetro;
- Número de grãos por fileira (NG) por contagem, média das mesmas espigas que foram medidos o comprimento e diâmetro;
- Peso de 1000 grãos (PMG): apenas na safra, com utilização de balança digital;
- Peso médio de espiga (PME): apenas na safra, as espigas da área útil de 2 m<sup>2</sup> da parcela foram debulhadas, e, com auxílio de balança digital, os grãos foram pesados. Posteriormente dividiu-se o peso pelo número de espigas;
- Produtividade (PROD): na safra, as espigas da área útil da parcela foram debulhadas, e, com auxílio de balança digital, os grãos foram pesados, corrigindo a umidade para 13% e extrapolando o resultado para Kg/ha. Já na safrinha, utilizou-se o peso de espigas sem palha da área útil da parcela extrapolando para Kg/ha;

## 2.5 Procedimentos estatísticos

Os dados experimentais foram analisados por meio de análise de variância e de regressão.

Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste “t” e adotando-se o nível de até 5% de probabilidade no coeficiente de determinação ( $R^2 = \text{S.Q. Regressão} / \text{S.Q. tratamento}$ ) e no comportamento do fenômeno em estudo.

Para comparar a média do tratamento sem suplementação luminosa, a média do tratamento com luz a noite toda e a média do tratamento com 4 horas de luz por noite com os demais utilizou-se o teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O resumo da análise de variância contendo as características analisadas na safra como prolificidade (PROL), peso de espiga com palha (PECP), peso de espiga sem palha (PESP), comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), número de fileiras de grãos (NF), número de grãos por fileira (NG), peso médio de espiga (PME) e produtividade (PROD), bem como os respectivos quadrados médios são apresentados na Tabela 1. Observa-se que todas as variáveis foram afetadas pelos tempos de suplementação luminosa.

Tabela 1. Resumo da análise de variância das variáveis prolificidade (PROL), peso de espiga com palha (PECP), peso de espiga sem palha (PESP), comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), número de fileiras de grãos (NF), número de grãos por fileira (NG), peso médio de espiga (PME) e produtividade (PROD) em função dos tempos de suplementação luminosa (L) na safra.

FV	GL	PROL	PECP	PESP	QUADRADOS MÉDIOS					
					CE	DE	NF	NG	PME	PRD
Bloco	3	0,2210	0,1987	0,1336	17,5114	58,9748	3,1651	4,8271	0,0004	2589965
L	5	0,2397*	2,0091*	1,9443*	42,0651*	567,4331**	53,4046**	420,2157**	0,0077**	40491990**
Resíduo	15	0,0081	0,1746	0,1385	13,4417	60,3748	4,8762	28,6243	0,0005	2747152
CV(%)		10,19	24,01	25,50	27,39	19,30	15,75	18,53	23,169	25,69

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; \* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os valores médios das variáveis analisadas são apresentados na Tabela 2. Quando comparado o efeito dos tempos de suplementação de luz com o tratamento sem luz suplementar, pelo teste Dunnett, observa-se que para as variáveis PROL, PECP, PESP, CE, DE, NF, NG e PME somente o tratamento de luz suplementar a noite toda teve diferença, sendo inferior em todas as variáveis. Portanto, a extensão do dia até 24 horas é prejudicial para a cultura do milho.

Por outro lado, os tempos de exposição à luz suplementar na simulação do pivô (20", 40", 80" e 160") (quebra da noite) não foram suficientes para promover modificações nas variáveis, de tal forma que não diferiram do tratamento sem luz suplementar.

E para a variável PRD, os tratamentos 160 segundos de luz suplementar por noite e luz suplementar a noite toda diferiram do tratamento sem luz suplementar, apresentando os menores valores (6482 Kg/ha e 363 Kg/ha, respectivamente). Portanto, tanto o tratamento com suplementação luminosa a noite toda quanto o tratamento com 160" de luz suplementar reduzem a produtividade de milho.

Por outro lado, quando comparados com o tratamento de luz suplementar a noite toda, observa-se que os demais tratamentos foram diferentes. O tratamento com luz suplementar a noite toda apresentou menores valores em todas as variáveis em estudo. Fica evidente que, embora o milho, como planta de metabolismo fotossintético C4, responda ao aumento da intensidade luminosa, sem que haja saturação, tem sua produtividade afetada pela suplementação luminosa a noite toda. A ausência de luz durante a noite é importante para as plantas, pois nesse período o amido produzido pela fotossíntese é degradado em açúcares, que são translocados das folhas para o ápice ou para as folhas em desenvolvimento (URAIRI et al., 2017).

Na safra, o tratamento com luz suplementar a noite toda não houve emissão de espiga a ponto de ser contado como pleno florescimento, onde 50% das plantas apresentam espigas com 1/3 dos estilos-estigmas liberados. Portanto, neste tratamento foram avaliadas as poucas espigas encontradas na área. Isso pode ser explicado pelo maior período em que a planta se encontrou na fase vegetativa, utilizando fotoassimilados produzidos pelas folhas para emissão de folhas e crescimento, ao invés de investir na emissão de órgãos reprodutivos femininos.

Tais resultados podem ser atribuídos ao metabolismo de hormônios nas plantas de milho. A giberelina é um hormônio vegetal responsável pelo crescimento e desenvolvimento das plantas, promovendo crescimento do caule e das folhas além de

atuar na floração, no desenvolvimento dos frutos e no retardamento do envelhecimento dos tecidos vegetais (LAVAGNINI et al., 2014). A biossíntese de giberelinas é influenciada por fatores ambientais, como fotoperíodo e temperatura, os quais podem alterar os níveis de giberelinas bioativas por afetarem passos específicos da rota biossintética (TAIZ et al., 2017).

Tabela 2. Valores médios de prolificidade (PROL), peso de espiga com palha (PECP), peso de espiga sem palha (PESP), comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), número de fileiras de grãos (NF), número de grãos por fileira (NG), peso médio de espiga (PME) e produtividade (PROD) para os respectivos níveis de luz da safra.

Tempo de luz	PROL espiga/ planta	PECP Kg/parcel a	PESP Kg/parcela	CE cm	DE mm	NF -	NG -	PME Kg	PROD Kg/ha
Sem luz suplementar	1,03 ▣	2,4129 ▣	2,1169 ▣	14,18 ▣	45,77 ▣	15,75 ▣	32,50 ▣	0,1199 ▣	9455 ▣
Luz a noite toda	0,38*	0,3803*	0,1236*	6,80*	15,99*	6,58*	8,16*	0,0128*	363*
20"	1,00 ▣	2,1543 ▣	1,8720 ▣	15,04 ▣	45,52 ▣	14,91 ▣	34,79 ▣	0,1328 ▣	8345 ▣
40"	0,96 ▣	1,9276 ▣	1,6617 ▣	15,19 ▣	45,75 ▣	15,75 ▣	34,62 ▣	0,1173 ▣	7398 ▣
80"	0,97 ▣	1,7750 ▣	1,5070 ▣	14,41 ▣	44,59 ▣	15,66 ▣	30,83 ▣	0,1135 ▣	6655 ▣
160"	0,94 ▣	1,7815 ▣	1,4739 ▣	14,65 ▣	43,90 ▣	15,41 ▣	32,25 ▣	0,1118 ▣	6482* ▣

As médias com asterisco (\*) na coluna diferem da média do tratamento sem luz suplementar pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

As médias com quadrado (▣) na coluna diferem da média de luz suplementar a noite toda pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Como já mencionado, no segundo experimento (safrinha) foi avaliado a produção no estágio de milho verde (leitoso/pastoso - R3/R4) devido ao ataque de maritacas na área. Porém, o tratamento com 4 horas de luz suplementar ainda não se encontrava em pleno florescimento (50% das espigas com estilos-estigmas). Isso porque esse tempo de suplementação luminosa promoveu um atraso no desenvolvimento do milho, de tal forma que, as plantas demoraram 115 dias após a emergência para entrarem na fase reprodutiva (pendoamento).

Portanto, as variáveis comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), peso de espiga com palha (PECP), peso de espiga sem palha (PESP), número de fileiras de grãos (NF) e número de grãos por fileira (NG) não foram avaliadas nesse tratamento, considerando-se apenas os dados de prolificidade (PROL) e produtividade de espigas (PROD), a partir das poucas espigas encontradas na área que ainda estavam no estágio R1 (florescimento).

O resumo da análise de variância contendo as características analisadas na safrinha como comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), peso de espiga com palha (PECP), peso de espiga sem palha (PESP), número de fileiras de grãos (NF) e número de grãos por fileira (NG) bem como os respectivos quadrados médios são apresentados na Tabela 3. Observa-se que somente a variável peso de espiga com palha (PECP) foi afetada pelos tempos de suplementação luminosa.

Tabela 3. Resumo da análise de variância das variáveis comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), peso de espiga com palha (PECP), peso de espiga sem palha (PESP), número de fileiras de grãos (NF) e número de grãos por fileira (NG) em função dos tempos de suplementação luminosa (L) na safrinha.

QUADRADOS MÉDIOS							
FV	GL	CE	DE	PECP	PESP	NF	NG
Bloco	3	0,6951	25,9565	0,6879	0,4338	10,8820	0,7813
L	4	1,1360 <sup>ns</sup>	2,8764 <sup>ns</sup>	0,4454*	0,3155 <sup>ns</sup>	11,9270 <sup>ns</sup>	0,4000 <sup>ns</sup>
Resíduo	12	3,1224	5,9705	0,1231	0,1046	9,1336	0,5280
CV(%)		10,41	5,61	11,78	15,73	12,44	4,74

\* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os valores médios das variáveis analisadas são apresentados na Tabela 4. Quando comparado o efeito dos diferentes tempos de suplementação de luz com o tratamento sem luz suplementar, pelo teste Dunnett, observa-se que somente a variável peso de espiga com palha (PECP) foi diferente, apresentando o maior valor (3,43 Kg/parcela). Portanto, para essa variável, a quebra da noite com 20" de luz foi benéfica, porém não houve diferença na produtividade (Tabela 6).

Tabela 4. Valores médios de comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), peso de espiga com palha (PECP), peso de espiga sem palha (PESP), número de fileiras de grãos (NF) e número de grãos por fileira (NG) para os respectivos níveis de suplementação luminosa na safrinha.

Tempo de luz	CE	DE	PECP	PESP	NF	NG
	cm	mm	Kg/parcela	Kg/parcela	-	-
Sem luz suplementar	17,17	43,64	2,66	1,88	15,50	23,80
20"	16,28	43,66	3,43*	2,44	14,90	22,55
40"	16,52	43,03	2,98	2,06	15,70	23,60
80"	17,30	44,79	3,16	2,18	15,30	27,15
160"	17,52	42,52	2,65	1,70	15,10	24,35

As médias com asterisco (\*) na coluna diferem da média do tratamento sem luz suplementar pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

A não significância dessas variáveis pode ser devido ao curto tempo de exposição de luz suplementar na simulação do pivô. Embora a quebra da noite com 20" de luz tenha promovido maior peso de espiga com palha.

A Tabela 5 apresenta o resumo da análise de variância contendo as características analisadas na safrinha como prolificidade (PROL) e produtividade de espigas (PROD) bem como os respectivos quadrados médios. Observa-se que ambas as variáveis foram afetadas pelos tempos de suplementação luminosa.

Tabela 5. Resumo da análise de variância das variáveis prolificidade (PROL) e

produtividade de espigas (PROD) em função dos tempos de suplementação luminosa (L) na safrinha.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS	
		PROL	PROD
Bloco	3	0,0424	9101515
L	4	1,4089*	76277660*
Resíduo	12	0,0862	2443095
CV(%)		23,56	18,22

\* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os valores médios das variáveis analisadas são apresentados na Tabela 6. Quando comparado o efeito dos diferentes tempos de suplementação de luz com o tratamento sem luz suplementar, pelo teste Dunnett, observa-se que o tratamento com 4 horas de luz suplementar apresentou menores valores de prolificidade e produtividade, 0,08 espigas por planta e 40,00 kg de espigas por hectare, respectivamente. Por outro lado, quando comparados os demais tratamentos com o de 4 horas de luz suplementar, observa-se que todos os tratamentos diferiram deste.

Tabela 6. Valores médios de prolificidade (PROL) e produtividade (PROD) para os respectivos níveis de suplementação luminosa na safrinha.

Tempo de luz	PROL	PROD
	espiga/planta	Kg/ha
Sem luz suplementar	1,43 ■	9430 ■
4 horas	0,08*	40*
20"	1,71 ■	12207 ■
40"	1,54 ■	10335 ■
80"	1,49 ■	10915 ■
160"	1,21 ■	8535 ■

As médias com asterisco (\*) na coluna diferem da média do tratamento sem luz suplementar pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

As médias com quadrado (■) na coluna diferem da média de 4 horas de luz suplementar pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Portanto, fica evidente que maiores tempos de suplementação luminosa (160

segundos de luz suplementar por noite e noite toda na safra e 4 horas de luz suplementar por noite na safrinha) influenciam negativamente a cultura, reduzindo a produtividade do milho. Tais resultados sugerem que plantas de metabolismo fotossintético C4, especialmente o milho, podem responder negativamente a este estímulo.

Além disso, não houve diferença entre os tempos de exposição à luz suplementar na simulação do pivô (20", 40", 80" e 160") com o tratamento sem luz suplementar. Logo, a suplementação luminosa via pivô central não promove aumento de produtividade no milho.

No entanto, existem trabalhos que obtiveram resultados promissores em plantas de metabolismo fotossintético C3 usando essa tecnologia. Palmitessa et al. (2020) avaliaram o efeito da iluminação LED no tomate e observaram que o número de frutos colhidos foi maior nos tratamentos de luz suplementar. Da mesma forma, Yan et al. (2018) utilizando iluminação suplementar em tomate observaram que a luz artificial promove aumento no número e peso dos frutos.

Ao utilizar luz artificial com diferentes cores a fim de aumentar o fotoperíodo na produção de morango em cultivo sem solo em Pelotas, Vignolo et al. (2016) observaram um incremento de 15% na produção de frutas com o uso de luz artificial na cor branca em relação à testemunha (sem luz artificial). Da mesma forma, Kumar et al. (2016) observaram um aumento de 30,8% na produção de mini pepinos cultivados com suplementação luminosa com LEDs quando comparado com o tratamento sem suplementação luminosa. Semelhantemente, GUO et al. (2016) observaram que a produção de pimentão aumentou 16% com a utilização de LEDs quando comparados ao tratamento com uso de lâmpadas de alta pressão de sódio (HPS).

Após a comparação pelo teste Dunnett, realizou-se a análise de regressão entre os tempos 20, 40, 80 e 160 segundos. Na Tabela 7 estão apresentadas as equações ajustadas para as variáveis em estudo no primeiro experimento (safra), bem como ponto máximo ou mínimo e seus respectivos coeficientes de determinação.

Tabela 7. Equações ajustadas de prolificidade (PROL), comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), peso de espiga com palha (PECP), peso de espiga sem palha (PESP), número de fileiras de grãos (NF), número de grãos por fileira (NG), peso de 1000 grãos (PMG), peso médio de espiga (PME) e produtividade (PROD) da safra em função dos níveis de suplementação luminosa, bem como ponto máximo ou mínimo e seus respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações ajustadas	Ponto máximo / ponto mínimo	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>
PROL	$\hat{Y} = 0,97$	-	-
CE	$\hat{Y} = 14,8262$	-	-
DE	$\hat{Y} = 45,9265 - 0,013065 \cdot L$	[20; 45,66]	0,8950
PECP	$\hat{Y} = 1,9096$	-	-
PESP	$\hat{Y} = 1,6286$	-	-
NF	$\hat{Y} = 15,43$	-	-
NG	$\hat{Y} = 33,12$	-	-
PMG	$\hat{Y} = 0,2809$	-	-
PME	$\hat{Y} = 0,1188$	-	-
PROD	$\hat{Y} = 7220,41$	-	-

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

As variáveis PROL, CE, PECP, PESP, NF, NG, PMG, PME e PROD não foram afetadas pelos tempos de suplementação luminosa (Tabela 7). Por outro lado, para a variável diâmetro de espiga (DE), observa-se que as médias diminuem linearmente conforme aumenta o tempo de suplementação luminosa, sendo que as plantas cultivadas com menor tempo de luz (20") apresentaram maior diâmetro de espiga (45,66 mm).

Da mesma forma, na Tabela 8 estão apresentadas as equações ajustadas para as variáveis em estudo na safrinha, bem como ponto máximo ou mínimo e seus respectivos coeficientes de determinação. As variáveis CE, DE, PECP, PESP, NF, NG e PROD não foram afetadas pelos tempos de suplementação luminosa, somente a variável prolificidade foi afetada pelos diferentes tempos de suplementação luminosa. Somente a variável prolificidade (PROL) foi afetada pelos diferentes tempos de suplementação luminosa.

Tabela 8. Equações ajustadas de prolificidade (PROL), comprimento de espiga (CE),

diâmetro de espiga (DE), peso de espiga com palha (PECP), peso de espiga sem palha (PESP), número de fileiras de grãos (NF), número de grãos por fileira (NG) e produtividade (PROD) da safrinha em função dos níveis de suplementação luminosa, bem como ponto máximo ou mínimo e seus respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações ajustadas	Ponto máximo / ponto mínimo	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>
PROL	$\hat{Y} = 1,7383 - 0,003302^{**}L$	[20; 1,67]	0,9604
CE	$\hat{Y} = 16,9087$	-	-
DE	$\hat{Y} = 43,5056$	-	-
PECP	$\hat{Y} = 3,0585$	-	-
PESP	$\hat{Y} = 2,0996$	-	-
NF	$\hat{Y} = 24,4125$	-	-
NG	$\hat{Y} = 15,2500$	-	-
PROD	$\hat{Y} = 10231,87$	-	-

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

A variável prolificidade (PROL), apresentou redução linear em função do tempo de suplementação luminosa, sendo que as plantas cultivadas com menor tempo (20") apresentaram maior valor (1,67 espigas/planta). A prolificidade refere-se à capacidade das plantas de produzir mais que uma espiga com grãos por planta. Essa característica pode ser influenciada pela interação de fatores genéticos e fatores ambientais. E embora essa variável apresente correlação positiva com o rendimento de grãos, nesse estudo, não houve diferença na produtividade de milho em função dos tempos de suplementação luminosa na simulação do pivô.

#### 4 CONCLUSÃO

A suplementação luminosa a noite toda na safra e com 4 horas de luz suplementar na safrinha atrasa o florescimento de milho e afeta negativamente a produtividade de grãos e espigas de milho verde, respectivamente.

A produção do milho obtido sem luz suplementar foi a mesma que a obtida na suplementação luminosa com LED (75/25) simulando os tempos do pivô, na safra e na safrinha.

## 5 REFERÊNCIAS

- BANTIS, F.; SMIRNAKOU, S.; OUZOUNIS, T.; KOUKOUNARAS, A.; NTAGKAS, N.; RADOGLU, K. Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). *Scientia Horticulture*, v. 235, p. 437-451, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.058>.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 10 - Safra 2022/23, n. 6, Sexto levantamento, Brasília, p. 1-96, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 13 mar. 2023.
- DEKALB. Disponível em: <https://www.dekalb.com.br>. Acesso em: 13 mar. 2023.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. USDA.gov - United States Department of Agriculture. Disponível em: <<http://www.usda.gov>>. Acesso em: 13 mar. 2023.
- FANCELLI, A. L. Ecofisiologia, Fenologia e Implicações básicas de manejo. In: Milho: do plantio à colheita. 2. ed. atual. e ampl. Viçosa: UFV. 2017. p. 50-56.
- GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. Milho do plantio à colheita. 2. ed. Viçosa, MG: Editora Ufv, 382 p., 2017.
- GUO, X.; HAO, X.; KHOSLA, S.; KUMAR, K. G. S.; CAO, R.; BENNETT, N. Effect of LED interlighting combined with overhead HPS light on fruit yield and quality of year-round sweet pepper in commercial greenhouse. In: VIII International Symposium on Light in Horticulture, v. 1134, p. 71-78, 2016. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1134.10>
- KÖPPEN, W. Climatologia. Tradução: Pedro R. H. Perez. Buenos Aires, Panamericana, 1948. 478p.
- KUMAR, K. G. S.; HAO, X.; KHOSLA, S.; GUO, X.; BENNETT, N. Comparison of HPS lighting and hybrid lighting with top HPS and intra-canopy LED lighting for high-wire minicucumber production. In: VIII International Symposium on Light in Horticulture, v. 1134, p. 111-118, 2016. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1134.15>
- LAVAGNINI, C. G.; DI CARNE, C. A. V.; CORREA, F.; HENRIQUE, F.; TOKUMO, L. E.; SILVA, M. H.; SANTOS, P. C. S. Fisiologia vegetal - hormônio giberelina. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v.25 - n.1 - p.48-52, 2014.
- NAIR, I.; MAZUMDARA, P.; SINGHA, P.; RENGASAMY, N.; HARIKRISHNA, J. A. Increasing the Ratio of Blue to Red Light Improves Growth And Phytochemical Content

in *Hydrocotyle bonariensis* I. Russian Journal of Plant Physiology, 2021, v.68, n.2, p. 337-346. <https://doi.org/10.1134/S1021443721020126>.

PALMITESSA, O. D.; LEONI, B.; MONTESANO, F. F.; SERIO, F.; SIGNORE, A.; SANTAMARIA, P. Supplementary Far-Red Light Did Not Affect Tomato Plant Growth or Yield under Mediterranean Greenhouse Conditions. *Agronomy*, v. 10, n. 12, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121849>

RECHNER, O.; NEUGART, S.; SCHREINER, M.; WU, S.; POEHLING, H. M. Different narrow-band light ranges alter plant secondary metabolism and plant defense response to aphids. *Journal of Chemical Ecology*, v.42, n.10, p.1-15, 2016. <https://doi.org/10.1007 / s10886-016-0755-2>.

ROSSINI, L. A. C. J.; SANTOS, G.; RIBEIRO, J. D.; REIS, F. B. Associação de surfactantes a inseticidas para o controle de *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott, 1923) (hemiptera: cicadellidae) na cultura do milho. *Braz. J. Anim. Environ. Res.*, Curitiba, v. 3, n. 4, p. 4022-4029, 2020. <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n4-098>.

SOLEYMANI, A. Corn (*Zea mays* L.) yield and yield components as affected by light properties in response to plant parameters and N fertilization. *Biocatálise e Biotecnologia Agrícola*, v. 15, p. 173-180, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.06.011>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. Ed. Porto Alegre: Artmed, 918 p., 2017.

URAIRI, C., SHIMIZU, H., NAKASHIMA, H., MIYASAKA, J., E OHDOI, K. Optimization of lightdark cycles of *Lactuca sativa* L. in plant factory. *Environmental Control in Biology*, v. 55, n. 2, p. 85-91, 2017. <https://doi.org/10.2525/ecb.55.85>.

VIGNOLO, G. K.; COSTA, S. I.; MACHADO, J. T. M.; TONIN, J.; ANTUNES, L. E. C. Produção de morangos em cultivo fora de solo recirculante utilizando lâmpadas de diferentes cores para aumento do fotoperíodo. In: VII Encontro Sobre Pequenas Frutas e Frutas Nativas do Mercosul, Pelotas, Anais, 2016, v.1, p.87-90, 2016.

YAN, W.; ZHANG, Y.; ZHANG, Y.; CHENG, R.; ZHANG, Y.; YANG, Q.; LI, T. Effects of Supplementary Artificial Light on Growth of the Tomato (*Solanum lycopersicum*) in a Chinese Solar Greenhouse, v. 87, n. 4, n. 516-523, 2018. <https://doi.org/10.2503/hortj.OKD-165>.

### **CAPÍTULO III – TAXAS DE FOTOSSÍNTESE DO MILHO SAFRINHA SUBMETIDO A DIFERENTES TEMPOS DE SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA artificial**

#### RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar a influência da iluminação artificial com uso de LEDs sobre as trocas gasosas do milho (*Zea mays* L.), simulando a tecnologia via pivô central de irrigação na safra (verão) e na safrinha (verão/outono). Os tratamentos foram: sem iluminação suplementar; 20 segundos de luz por noite; 40 segundos de luz; 80 segundos de luz; 160 segundos de luz; 4 horas de luz suplementar, simulando a passagem do pivô central (tempo.m<sup>-2</sup>) (flashes por noite). Os módulos de led (MÓDULO 48L FNLE HORT PINK 25% BLUE 90º 250X71X37MM 76,5VDC 54W) foram instalados em suportes de madeira numa altura de 3 metros sobre a área útil da parcela, simulando a altura do pivô, sendo utilizado um módulo por parcela. Foram realizadas mensurações da taxa fotossintética, condutância estomática, taxa transpiratória, concentração interna e eficiência aparente de carboxilação, em dois estádios fenológicos do milho (vegetativo - V8, reprodutivo - VT/R1), no período de 8:00 às 13:00 horas em um dia de pleno sol. A respiração noturna das plantas do milho foi realizada às 20 horas do mesmo dia. O único tratamento em que foi possível realizar a medição da taxa fotossintética no momento da suplementação luminosa foi o de 4 horas. Os tempos de suplementação luminosa não proporcionaram diferenças nas variáveis estudadas no estádio vegetativo (V8). No estádio reprodutivo (VT/R1), somente a respiração noturna (RN) foi afetada pelos tempos de suplementação luminosa, sendo que o tratamento com 4 horas de luz suplementar apresentou o menor valor. E plantas cultivadas com 20” de luz suplementar tendem a apresentar maior valor de concentração interna de CO<sub>2</sub> no estádio vegetativo (v8). Conclui-se, portanto, que nas condições desse estudo, a luz suplementar pouco afetou as características fisiológicas da cultura do milho.

Palavras-chave: Diodos Emissores de luz; Fotossíntese; Iluminação Artificial; *Zea mays*.

## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the influence of artificial lighting using LEDs on gas exchange in corn (*Zea mays* L.), simulating the technology via center pivot irrigation in the harvest (summer) and off-season (summer/autumn). The treatments were: no supplementary lighting; 20 seconds of light per night; 40 seconds of light; 80 seconds of light; 160 seconds of light; 4 hours of supplementary light, simulating the passage of the central pivot (time.m<sup>-2</sup>) (flashes per night). The led modules (MODULE 48L FNLE HORT PINK 25% BLUE 90° 250X71X37MM 76.5VDC 54W) were installed on wooden supports at a height of 3 meters above the useful area of the plot, simulating the height of the pivot, using one module per plot. Measurements of the photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate, internal concentration and apparent efficiency of carboxylation were carried out in two phenological stages of maize (vegetative - V8, reproductive - VT/R1), from 8:00 am to 1:00 pm on a full sunny day. Nocturnal respiration of maize plants was carried out at 20:00 on the same day. The only treatment in which it was possible to measure the photosynthetic rate at the time of light supplementation was the 4-hour treatment. The times of light supplementation did not provide differences in the variables studied in the vegetative stage (V8). In the reproductive stage (VT/R1), only nocturnal breathing (RN) was affected by the times of supplemental light, with the treatment with 4 hours of supplemental light having the lowest value. And plants grown with 20" of extra light tend to have a higher internal CO<sub>2</sub> concentration value in the vegetative stage (v8). It is concluded, therefore, that under the conditions of this study, supplementary light had little effect on the physiological characteristics of the maize crop.

Keywords: Light Emitting Diodes. Photosynthesis. Artificial Lighting. *Zea mays*.

## 1 INTRODUÇÃO

A luz é um dos fatores ambientais que mais influenciam no crescimento e desenvolvimento vegetal (SILVA et al., 2020). A percepção dos comprimentos de onda é realizada por diversos fotorreceptores, como os fitocromos (vermelho e do vermelho-distante), os criptocromos e fototropinas (azul e do UV-A) e o UVR8 (UV-B) (WANG

et al., 2020).

As plantas realizam, através da fotossíntese, a conversão de energia luminosa em energia química. Entretanto, apenas uma parte de toda energia oriunda do Sol é utilizada pelas plantas, uma vez que, 30% é refletida pela superfície terrestre e 19% é absorvida pelas nuvens. Além disso, as plantas apresentam limitada eficiência do processo fotossintético. Plantas C3, por exemplo, apresentam uma eficiência máxima de 4,6%, enquanto que em plantas C4 é de 6%, uma vez que, cerca de 51,3% da luz recebida não está dentro do espectro da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), 4,9% é refletida e 6,6% é perdida pela ineficiência do próprio processo de fotossíntese (LANDI et al., 2020).

Atualmente, a otimização das condições de cultivo das plantas de forma a alcançar maior produtividade e qualidade vegetal tem sido o principal objetivo da agricultura e produção de alimentos. O uso de iluminação artificial em sistemas de cultivo, em especial, no controlado está sendo explorado a fim de aumentar a produção e a capacidade qualitativa de espécies cultivadas.

Diversas fontes de suplementação luminosa são utilizadas no cultivo de plantas, como as lâmpadas de sódio de alta pressão, lâmpadas de iodetos metálicos e lâmpadas fluorescentes (AHMED et al., 2020). Além disso, possuem maior vida útil, menor tamanho, baixa emissão de calor e reduzido consumo energético (BIAN et al., 2018).

Entretanto, a maior parte dos trabalhos com suplementação luminosa têm sido realizados em cultivo protegido em países de alta latitude, como grande parte da Ásia, Europa e Canadá, onde a iluminação suplementar tem sido utilizada de forma a aumentar a fotossíntese e o rendimento das plantas, principalmente no inverno. No Brasil e a nível de campo, essa tecnologia tem sido pouco explorada.

Neste contexto, surge a tecnologia de suplementação luminosa sobre a lavoura, de uma forma completamente controlável, via pivô central. No entanto, sabe-se que cada torre do pivô tem velocidade diferente, podendo ocasionar desuniformidade da irrigação com luz. Segundo os dados fornecidos pelo engenheiro agrônomo Leonardo Miranda da Empresa ICrop, informação pessoal, sobre pivô de 100 hectares com 50% de aplicação, a torre da base irriga uma área de 7.172,05 m<sup>2</sup> e gasta, em média, 2,62 minutos para percorrer 1 m<sup>2</sup>, necessitando de 13,1 horas para tempo de volta a 100%. Por outro lado, a torre mais próxima da ponta irriga uma área de 136.308,54 m<sup>2</sup> e gasta, em média, 13,72 segundos para percorrer 1 m<sup>2</sup> (Apêndice

A).

Entre as muitas culturas que podem ser beneficiadas com a utilização de LEDs, destaca-se o milho, por ser uma planta de metabolismo fotossintético C4, o qual apresenta alta eficiência na utilização de luz e CO<sub>2</sub>, o que lhe confere alta produtividade biológica (FANCELLI, 2017), sendo adaptado a ambientes quentes e com alta luminosidade. Essa cultura é considerada uma planta fotoneutra (isto é, sem resposta ao fotoperíodo) ou de dias curtos. No entanto, o milho responde com altos rendimentos à medida que aumenta a intensidade luminosa (GALVÃO, BORÉM e PIMENTEL, 2017).

Além disso, o milho é uma commodity de grande importância no Brasil e no mundo, sendo utilizado para diversas finalidades, como alimentação humana, animal e na fabricação de produtos (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2015).

Não existe na literatura avaliação da performance fisiológica das plantas de milho, com suplementação luminosa, à campo, via LEDs em pivô central. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos fisiológicos do milho (*Zea mays* L.) em resposta a suplementação luminosa, através do uso de LEDs, simulando a tecnologia via pivô central de irrigação.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização da área experimental**

O experimento foi realizado em condições de campo na Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada em Viçosa – MG (latitude = 20 ° 45 ' ; longitude = 42 ° 51 ' ) na safrinha (abril/2022 a agosto/2022). Segundo a classificação climática de Köppen (1948) o clima da região é caracterizado como tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno.

### **2.2 Instalação do experimento**

Para a suplementação luminosa, foram utilizados módulos de LED de 25 cm de comprimento e 7,1 cm de largura, adquiridos da empresa Audax Electronics, dispostos na horizontal em refletores juntamente com seus respectivos drivers (Figura 1). O módulo (MÓDULO 48L FNLE HORT PINK 25% BLUE 90° 250X71X37MM 76,5VDC

54W) é composto por LEDs nas cores vermelho (~660nm) (75%) e azul (~450nm) (25%), respectivamente. A taxa de fluência de fótons dos módulos é de  $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  e o consumo de 54 W. O sistema era acionado por um quadro de comando automático (Figura 2).

O conjunto (LED + refletor) foi instalado em suportes de madeira, situado no centro da parcela, numa altura de 3 metros, simulando a altura do pivô (Figura 3). Para tanto, foi utilizado um módulo por parcela. Cada parcela consistia em 10 fileiras de 5 metros espaçadas de 0,5 m, formando uma área de  $25 \text{ m}^2$ .

Conforme mostra a Figura 4, os tratamentos com suplementação luminosa não afetavam o tratamento sem suplementação, uma vez que a luz incidia somente dentro da parcela a ser iluminada. O mesmo acontecia para os diferentes tempos de suplementação luminosa.



Figura 1: Disposição da lâmpada de LED e seu respectivo driver no refletor, utilizados para a suplementação luminosa em plantas de milho (*Zea mays*). Fonte: Patricia Carvalho, 2021.

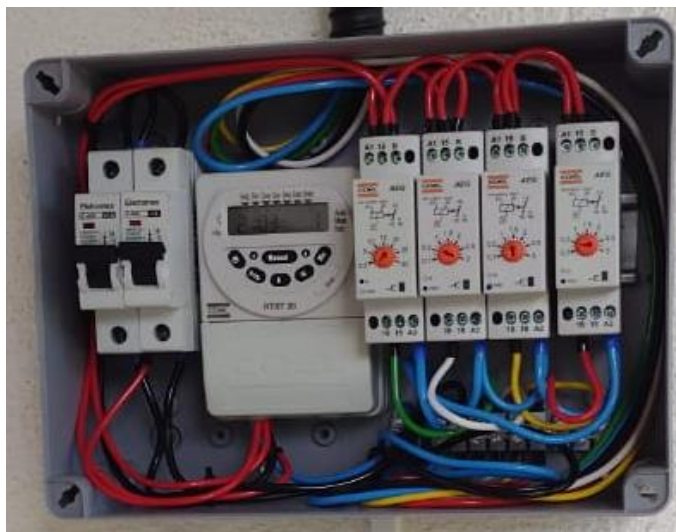


Figura 2: Quadro de comando automático. Fonte: Patricia Carvalho, 2021.

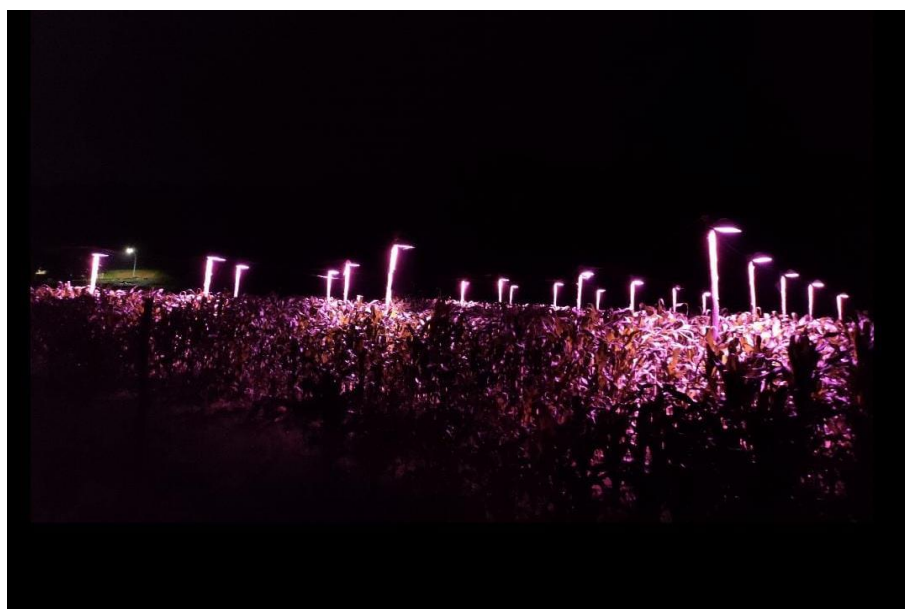


Figura 3: Cultivo de milho com iluminação suplementar de LED em suportes de madeira simulando a tecnologia em pivô. Fonte: acervo da autora, 2021. Fonte: Patricia Carvalho, 2021.

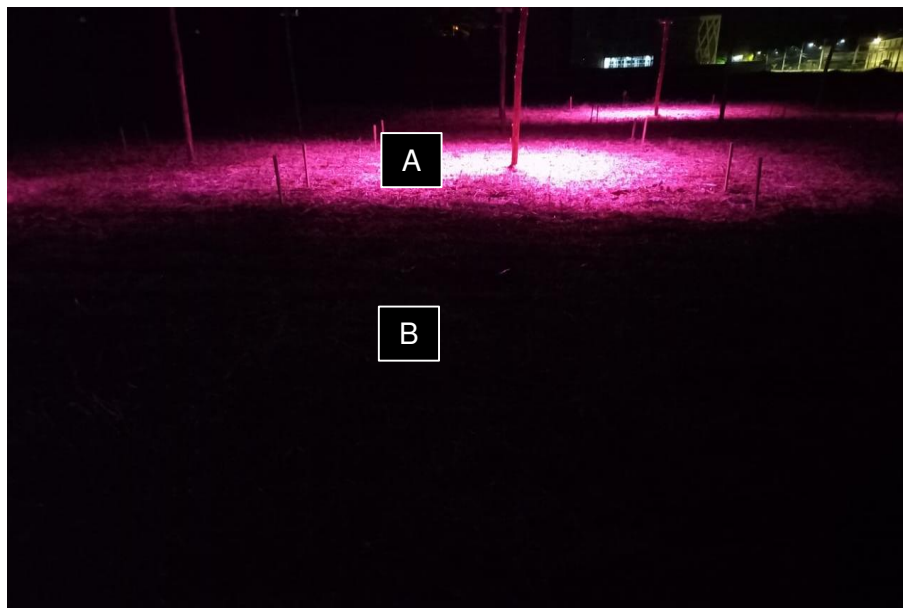


Figura 4: Parcela com (A) e sem (B) suplementação luminosa. Fonte: Patricia Carvalho, 2021.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Os tratamentos foram: sem iluminação suplementar; LED com 20 segundos de luz por noite; LED com 40 segundos de luz por noite; LED com 80 segundos de luz por noite; LED com 160 segundos de luz por noite; e, 4 horas de luz por noite (simulando um dia longo).

A semeadura do milho foi realizada no dia 11 de abril de 2022, utilizando sementes do híbrido DKB380PRO3. Esse híbrido possui ciclo precoce, grão semiduro e atinge altura média de 2,33 m (DEKALB, 2023). Para tanto, foram plantadas 5 sementes por metro linear, espaçadas a 0,50 metros. Após o desbaste, foram mantidas 2,5 sementes por metro, totalizando 50.000 plantas/hectare. A adubação de plantio foi de 200 kg por hectare do fertilizante NPK na fórmula 8 28 16.

O controle de plantas daninhas foi realizado aplicando na área dois litros por hectare de glifosato para a dessecação (12 de abril de 2022). No estágio vegetativo V4 (quatro folhas completamente formadas) realizou-se a adubação de cobertura, utilizando 100 Kg/ha de N na forma de ureia. Além disso, também em V4, foi necessário efetuar o controle da cigarrinha (*Dalbulus maidis*), utilizando 750 mililitros por hectare do produto comercial Connect. Já em V5 (com cinco folhas completamente formadas) realizou-se o controle de plantas daninhas, aplicando três litros por hectare

de glifosato.

A suplementação luminosa teve início no dia 18 de maio de 2022, quando as plantas estavam no estádio V5, sendo fornecida todas as noites, permanecendo até 23 de agosto de 2022, somando 97 dias de suplementação luminosa. Os tratamentos 20, 40, 80 e 160 segundos de luz receberam a suplementação luminosa às 21 horas. Já no tratamento 4 horas de luz por noite, a suplementação iniciava às 18 horas e encerrava às 22 horas. O acionamento dos módulos foi realizado automaticamente.

Foram feitas mensurações da taxa de fluência de fótons incidente sobre as plantas por meio do aparelho radiômetro (AccuPAR PAR/LAI Ceptometer modelo LP-80). Para tanto, foram feitas medições próxima ao refletor (A), numa porção mediana (B) e na altura das plantas (1,20 m) (C), obtendo os valores  $396,75 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ,  $38,25 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ,  $15,25 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , respectivamente (Figura 5).

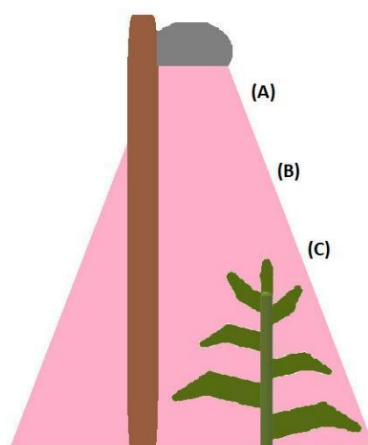


Figura 5: Altura de mensuração da taxa de fluência de fótons com o radiômetro. (A) próxima ao refletor, (B) porção mediana e (C) altura das plantas no estádio V8 (1,20 metros).

Observa-se que a taxa de fluência de fótons que atingia as plantas nesse estádio, com altura média de 1,20 m, é muito baixa, dado que a taxa máxima de fluência de fótons existentes sobre a superfície da Terra é de  $2000 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  em um dia de pleno sol (TAIZ et al., 2017; KERBAUY, 2019). Portanto, próximo ao refletor a taxa de fluência de fótons era de 19,8% da existente na superfície da Terra, na porção mediana era de 1,9% e na altura das plantas em V8 era de 0,76%.

Em razão da falta de suportes (tripés) para os aspersores na unidade experimental, a irrigação das plantas foi realizada apenas na fase vegetativa.

## 2.3 Variáveis Climáticas

Os dados climáticos como temperaturas máxima, média e mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidades máxima, média e mínima (%), radiação acumulada ( $\text{KJ}/\text{m}^2$ ) e precipitação acumulada (mm), registradas por decêndio durante o período de condução do experimento pela Estação Climatológica Principal de Viçosa, encontram-se dispostos nas figuras 6, 7, 8 e 9, respectivamente. A Estação Climatológica Principal de Viçosa está localizada no Departamento de Engenharia Agrícola a aproximadamente 700 metros da área experimental.

A Figura 6 apresenta a variação das temperaturas máximas, médias e mínimas do ar, por decêndio, em todo o período de condução do experimento. A faixa de temperatura média variou de 11,6 a 22,5  $^{\circ}\text{C}$ .

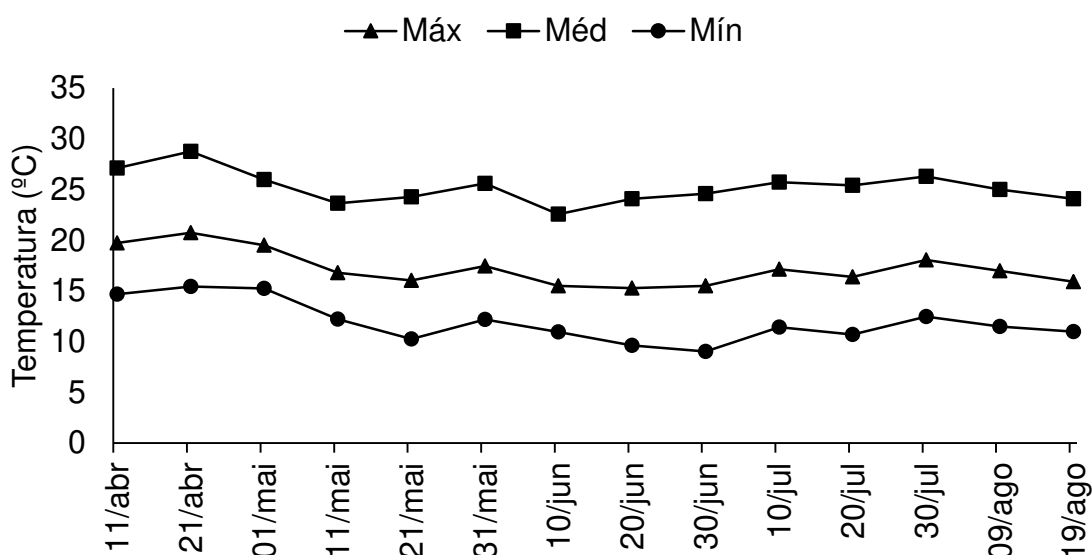


Figura 6: Temperaturas máxima, média e mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ) registradas, por decêndio, durante o período de condução do experimento, de abril a agosto de 2022 em Viçosa – MG. Fonte: Boletim meteorológico -UFV - Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa – MG.

A Figura 7 apresenta a variação das umidades máximas, médias e mínimas do ar, por decêndio, em todo o período de condução do experimento. A faixa de umidade média variou de 66,1 a 92,8 %.

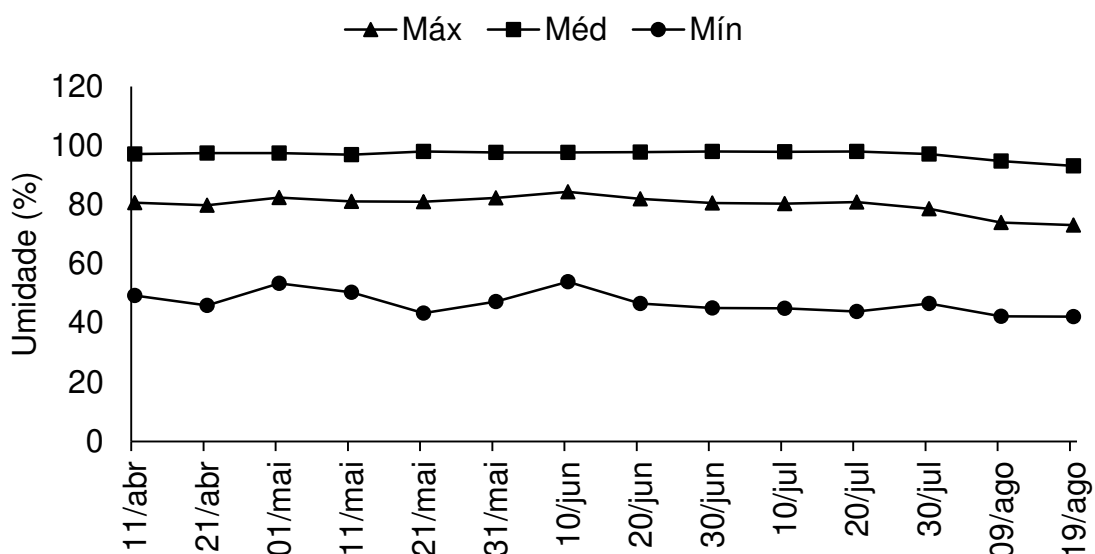


Figura 7: Umidades máxima, média e mínima (%) registradas, por decêndio, durante o período de condução do experimento, de abril a agosto de 2022 em Viçosa – MG. Fonte: Boletim meteorológico -UFV - Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa – MG.

A Figura 8 apresenta a radiação acumulada, por decêndio, em todo o período de condução dos experimentos. A faixa de radiação solar variou de 4449,3 a 21407,6  $\text{KJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , com uma média de 13161,81  $\text{KJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ .

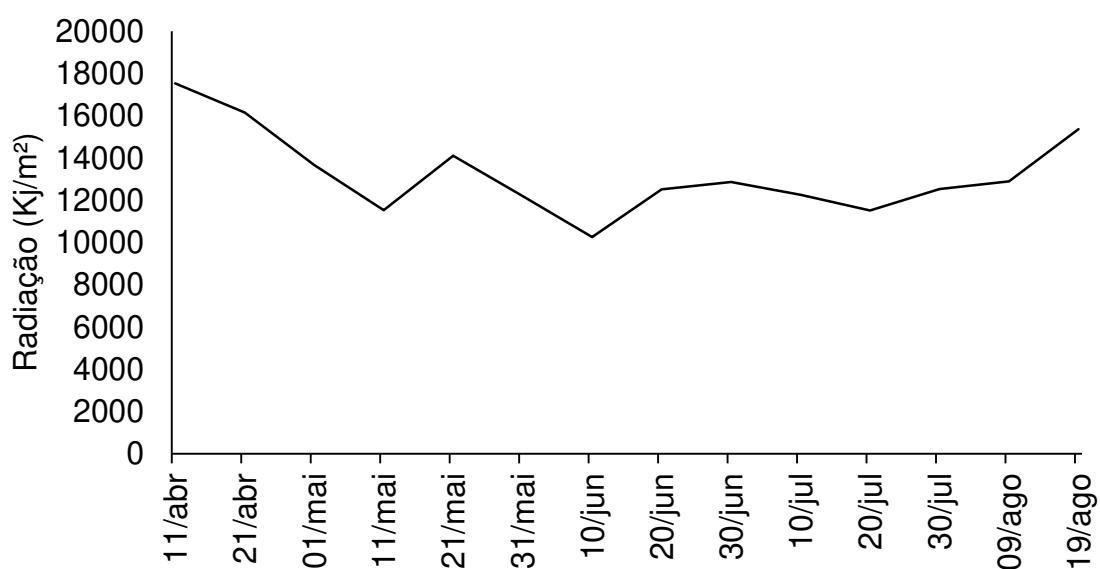


Figura 8: Radiação acumulada ( $\text{KJ/m}^2$ ) registrada, por decêndio, durante o período de condução do experimento, de abril a agosto de 2022 em Viçosa – MG. Fonte: Boletim meteorológico -UFV - Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa – MG.

A Figura 9 apresenta a variação da precipitação acumulada, por decêndio, em todo o período de condução do experimento. A média de precipitação foi de 0,34 mm.dia<sup>-1</sup>, o que foi amenizado com irrigação suplementar.

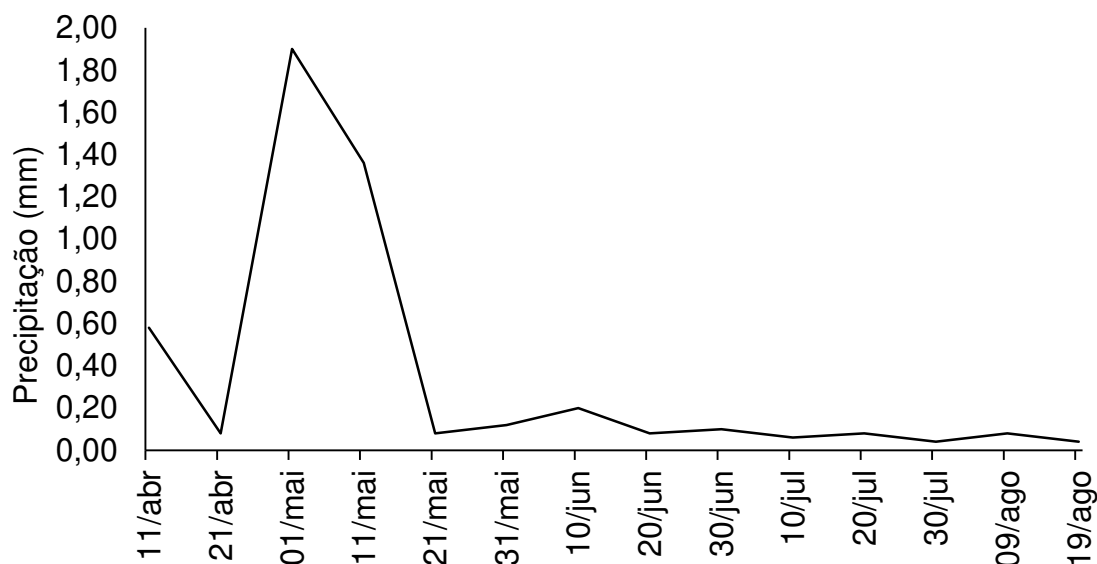


Figura 9: Precipitação acumulada (mm) registrada, por decêndio, durante o período de condução do experimento, de abril a agosto de 2022 em Viçosa – MG. Fonte: Boletim meteorológico -UFV - Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa – MG.

## 2.4 Características fisiológicas

A fotossíntese foi avaliada com o analisador de gás infravermelho portátil (IRGA, LI 6400XT, LI-COR), no período de 8:00 às 13:00 horas em um dia de pleno sol, na última folha completamente desenvolvida, de plantas dispostas nas duas fileiras centrais da parte da frente do poste. Este horário foi definido, uma vez que, é o horário padrão de realização desse tipo de medição e porque não era possível mensurar no momento em que as plantas recebiam a suplementação luminosa, devido os tempos de luz (em segundos) de cada tratamento e o tempo que o aparelho precisa para estabilizar e dar os valores. O único tratamento em que foi possível realizar essa medição no momento da suplementação luminosa foi o de 4 horas.

Para tanto, foram realizadas duas avaliações ao longo do ciclo fenológico das plantas segundo Fancelli (2017): no estágio vegetativo V8 (oito folhas completamente desenvolvidas) e no estágio reprodutivo VT/R1 (pendoamento/florescimento). Essa

última foi realizada no estágio VT do tratamento com 4 horas de luz suplementar, uma vez que as plantas apresentavam um atraso de desenvolvimento. Os demais tratamentos foram avaliados no estágio R1.

Desta forma, as características fotossintéticas registradas foram:

- Taxa fotossintética [A,  $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ];
- Condutância estomática [gs,  $\text{mol}(\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ];
- Taxa transpiratória [E,  $\text{mmol}(\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ];
- Concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol} \text{CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{ar}$ );
- $C_i/C_a$  a eficiência aparente de carboxilação ( $\mu\text{mol} \text{CO}_2 \text{mol}^{-1}$ ), determinada pela relação entre o  $\text{CO}_2$  taxa de assimilação e a concentração de  $\text{CO}_2$  intercelular.

Os parâmetros de fotossíntese foram obtidos sob luz constante de  $1500 \mu\text{mol} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  na câmara. Esse valor de oferta de luz foi utilizado para garantir uma maior resposta fotossintética e a mesma qualidade e intensidade de luz para todas as plantas avaliadas. Também foi considerado um valor ambiente de aproximadamente  $400 \mu\text{mol} \text{mol}^{-1}$  de ar, como referência para a concentração de  $\text{CO}_2$  e temperatura de  $25^\circ\text{C}$ .

Além disso, foi mensurada a respiração noturna [RN,  $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ], iniciando os registros às 20 horas, utilizando as mesmas plantas e o mesmo IRGA mencionado anteriormente.

## 2.5 Procedimentos estatísticos

Os dados experimentais foram analisados por meio de análise de variância e de regressão.

Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste “t” e adotando-se o nível de até 5% de probabilidade no coeficiente de determinação ( $R^2 = \text{S.Q. Regressão} / \text{S.Q. tratamento}$ ) e no comportamento do fenômeno em estudo.

Para comparar a média do tratamento sem suplementação luminosa, a média do tratamento com luz a noite toda e a média do tratamento com 4 horas de luz por noite com os demais utilizou-se o teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância contendo as características analisadas no estágio vegetativo (V8) como taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), taxa transpiratória (E), razão da concentração de CO<sub>2</sub> interna e do ambiente (Ci/Ca) e respiração noturna (RN), bem como os respectivos quadrados médios são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo da análise de variância das variáveis taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), taxa transpiratória (E), razão da concentração de CO<sub>2</sub> interna e do ambiente (Ci/Ca) e respiração noturna (RN) em função dos tempos de suplementação luminosa (L) no estágio vegetativo (V8).

QUADRADOS MÉDIOS							
FV	GL	A	gs	Ci	E	Ci/Ca	RN
Bloco	3	9,0034	0,0079	2512,5150	2,3638	0,0177	58,1386
L	5	98,1660 <sup>ns</sup>	0,0149 <sup>ns</sup>	409,6162 <sup>ns</sup>	1,5869 <sup>ns</sup>	0,0034 <sup>ns</sup>	2,4507 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	57,4020	0,0095	733,0649	0,9056	0,0052	3,3669
CV(%)		25,68	37,42	15,04	29,36	15,33	51,04

<sup>ns</sup> Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Embora este presente estudo não tenha encontrado diferenças nas trocas gasosas quando mensuradas no estágio vegetativo V8, a iluminação artificial com lâmpadas LED é considerada uma tecnologia que pode aumentar a taxa de assimilação de carbono, por estar relacionada à radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelas folhas, convertendo energia luminosa em energia química pela fotossíntese (FREITAS et al., 2021). Os valores médios das variáveis analisadas são apresentados na Tabela 2.

Esse comportamento pode estar relacionado a baixa fluência de fótons que atingia as plantas até esse estágio de desenvolvimento. A quantidade de radiação que uma planta recebe influencia no seu crescimento e desenvolvimento. Em um dia de pleno sol, a densidade do fluxo fotônico (DFF), expressa em quantidade de fótons (mol ou mol de fótons) por unidade de área por unidade de tempo, na faixa de radiação fotossinteticamente ativa (400 a 700 nm) pode atingir aproximadamente a 2000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Porém, a taxa de fluência que atingia as plantas nos estádios iniciais

( $15,25 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) era muito inferior em relação a taxa de fluência próximo ao refletor ( $396,75 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) (Figura 5) correspondendo a 3,81% da taxa de fluência do refletor e 0,76% da taxa de fluência existente na sobre a superfície terrestre. Portanto, a baixa intensidade luminosa que atingia as plantas pode não ter sido suficiente para promover alterações nas características fisiológicas.

Tabela 2. Valores médios taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), taxa transpiratória (E), razão da concentração de CO<sub>2</sub> interna e do ambiente (Ci/Ca) e respiração noturna (RN) para os respectivos níveis de luz no estágio vegetativo (V8).

Tempo de luz	A	gs	Ci	E	Ci/Ca	RN
	$\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$	$\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$	$\mu\text{mol CO}_2\text{ mol}^{-1}\text{ ar}$	$\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$	$\mu\text{mol CO}_2\text{ mol}^{-1}$	$\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$
Sem luz suplementar	32,07	0,2809	179,5397	3,4343	0,4755	3,0816
4 horas	20,33	0,1639	176,6678	2,1410	0,4574	3,6546
20"	34,26	0,3514	197,2708	4,0792	0,5250	2,5534
40"	29,42	0,2504	178,3058	3,1832	0,4699	4,2300
80"	32,41	0,2783	181,8527	3,4094	0,4814	3,3395
160"	28,53	0,2435	165,9949	3,1958	0,4373	4,7099

As médias com asterisco (\*) na coluna diferem da média do tratamento sem luz suplementar pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 3, está apresentado o resumo da análise de variância contendo as características analisadas no estágio reprodutivo (VT/R1) como taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), taxa transpiratória (E), razão da concentração de CO<sub>2</sub> interna e do ambiente (Ci/Ca) e respiração noturna (RN), bem como os respectivos quadrados médios.

Tabela 3. Resumo da análise de variância das variáveis taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), taxa transpiratória (E), razão da concentração de CO<sub>2</sub> interna e do ambiente (Ci/Ca) e respiração noturna (RN) em função dos tempos de suplementação luminosa no estágio reprodutivo (VT/R).

FV	G L	QUADRADOS MÉDIOS					
		A	gs	Ci	E	Ci/Ca	RN
Bloco	3	90,6233	0,0095	10988,28	0,3509	0,0757	0,2769
L	5	46,4579 <sup>ns</sup>	0,0037 <sup>ns</sup>	2819,59 <sup>ns</sup>	0,3300 <sup>ns</sup>	0,0177 <sup>ns</sup>	0,3660*
Resíduo	15	49,0129	0,0040	1743,86	0,3799	0,0100	0,0864
CV (%)		33,87	35,27	23,17	25,457	21,246	27,99

\* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Não foram encontradas diferenças nas variáveis taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), taxa transpiratória (E), razão da concentração de CO<sub>2</sub> interna e do ambiente (Ci/Ca). Somente a respiração noturna (RN) foi afetada pelos tempos de suplementação luminosa no estágio reprodutivo (VT/R1) das plantas de milho. Os valores médios das variáveis analisadas são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores médios taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), taxa transpiratória (E), razão da concentração de CO<sub>2</sub> interna e do ambiente (Ci/Ca) e respiração noturna (RN) para os respectivos níveis de luz no estágio reprodutivo (VT/R1).

Tempo de luz	A	gs	Ci	E	Ci/Ca	RN
	$\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$	$\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$	$\mu\text{mol CO}_2\text{ mol}^{-1}\text{ ar}$	$\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$	$\mu\text{mol CO}_2\text{ mol}^{-1}$	$\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$
Sem luz suplementar	25,3198	0,1866	136,8329	2,5354	0,3576	1,2306 ■
4 horas	20,6081	0,2027	211,8793	2,7692	0,5476	0,5921*
20"	22,5529	0,2210	201,0650	2,4555	0,5232	1,2117 ■
40"	15,2399	0,1322	166,2761	1,8952	0,4464	1,4283 ■
80"	21,3256	0,1781	183,0546	2,4266	0,4740	0,8416
160"	18,6417	0,1672	181,8853	2,4458	0,4790	0,9987

As médias com asterisco (\*) na coluna diferem da média do tratamento sem luz suplementar pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

As médias com quadrado (■) na coluna diferem da média de 4 horas de luz suplementar pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Quando comparado o efeito dos diferentes tempos de suplementação de luz com o tratamento sem suplementação luminosa, pelo teste Dunnett, observa-se que para a variável respiração noturna (RN), somente o tratamento com 4 horas de luz suplementar foi diferente, apresentando o menor valor ( $0,5921 \mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

Por outro lado, quando comparados os demais tratamentos com o tratamento com 4 horas de luz por noite, observa-se que para a variável respiração noturna (RN), os tratamentos sem luz suplementar, 20" segundos de luz suplementar e 40" de luz suplementar por noite foram diferentes, apresentando os maiores valores de RN,  $1,2306 \mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $1,2117 \mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $1,4283 \mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente.

Inicialmente poder-se-ia relacionar esse menor valor de respiração noturna, no tratamento com 4 horas de luz suplementar, com o fato das plantas estarem realizando fotossíntese, uma vez que o valor da taxa fotossintética mensurada no momento em que as plantas recebiam a suplementação luminosa foi de  $4,2560 \mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Tabela 5). Porém pode-se observar que neste tratamento ocorreu somente a fase fotoquímica não havendo a fixação, uma vez que a concentração interna de  $\text{CO}_2$  foi constante em todos os tempos de luz. Se tivesse fixando  $\text{CO}_2$ , a concentração interna de  $\text{CO}_2$  teria diminuído.

Uma das dificuldades do estudo foi decidir quando mensurar esses dados, uma vez que, não era possível mensurar no momento em que a luz suplementar estava ligada, dado que esta permanecia acesa por segundos e o aparelho IRGA precisa de tempo para estabilizar e registrar o valor das variáveis. Portanto, a forma como foi feita a medição, durante o dia, pode ter mascarado os resultados.

E embora neste estudo, tenha sido observado o menor valor de respiração noturna quando aplicou o maior tempo de suplementação luminosa (4 horas), em casos extremos, o excesso de luminosidade pode degradar os pigmentos de clorofila ocasionando redução da fotossíntese e aumentando a respiração da planta (ANDRIOLO et al., 2015).

Tabela 5. Valores médios taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs),

concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), taxa transpiratória (E) e razão da concentração de CO<sub>2</sub> interna e do ambiente (Ci/Ca) para o nível de 4 horas de luz, no momento do tratamento, no estágio reprodutivo (VT/R1).

Variáveis	Média
A	4,2560
gs	0,0469
Ci	218,1813
E	0,8205
Ci/Ca	0,5553

Após a comparação pelo teste Dunnett, realizou-se a análise de regressão entre os tempos 20, 40, 80 e 160 segundos. Na Tabela 6 estão apresentadas as equações ajustadas para as variáveis em estudo no estágio vegetativo e seus respectivos coeficientes de determinação.

As variáveis taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), taxa transpiratória (E), razão da concentração de CO<sub>2</sub> interna e do ambiente (Ci/Ca) e respiração noturna (RN) não foram afetadas pelos tempos de suplementação luminosa, apresentando, em média, os valores 31,1537 μmol (CO<sub>2</sub>) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 0,2809 mol (H<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 3,4670 mmol (H<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 0,4785 μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> e 3,7083 μmol (CO<sub>2</sub>) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente.

Tabela 6. Equações ajustadas de taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), taxa transpiratória (E), razão da concentração de CO<sub>2</sub> interna e do ambiente (Ci/Ca) e respiração noturna (RN) em função dos níveis de luz no estágio vegetativo (V8) e seus respectivos coeficientes de determinação.

Variáveis	Equações ajustadas	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>
A	$\hat{Y} = 31,1537$	-
gs	$\hat{Y} = 0,2809$	-
Ci	$\hat{Y} = 241,251487 L^{-0,0718699*}$	0,8208
E	$\hat{Y} = 3,4670$	-
Ci/Ca	$\hat{Y} = 0,4785$	-
RN	$\hat{Y} = 3,7083$	-

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

A variável concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) apresentou comportamento

potencial em função do tempo de iluminação, com uma redução acentuada à medida que aumentava os tempos de suplementação luminosa (Quadro 6).

Na Tabela 7 estão apresentadas as equações ajustadas para as variáveis no estágio reprodutivo e seus respectivos coeficientes de determinação. As variáveis taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), taxa transpiratória (E), razão da concentração de CO<sub>2</sub> interna e do ambiente (Ci/Ca) e respiração noturna (RN) não foram afetadas pelos tempos de suplementação luminosa, apresentando, em média, os valores 19,5151 μmol (CO<sub>2</sub>) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 0,1747 mol (H<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 183,0703 μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> ar, 2,3058 mmol (H<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 0,4807 μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> e 1,1201 μmol (CO<sub>2</sub>) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente.

Tabela 7. Equações ajustadas de taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), taxa transpiratória (E), razão da concentração de CO<sub>2</sub> interna e do ambiente (Ci/Ca) e respiração noturna (RN) em função do tratamento com 4 horas de luz suplementar no estágio reprodutivo (VT/R1) e seus respectivos coeficientes de regressão.

Variáveis	Equações ajustadas	R <sup>2</sup> /r <sup>2</sup>
A	$\hat{Y} = 19,5151$	-
gs	$\hat{Y} = 0,1747$	-
Ci	$\hat{Y} = 183,0703$	-
E	$\hat{Y} = 2,3058$	-
Ci/Ca	$\hat{Y} = 0,4807$	-
RN	$\hat{Y} = 1,1201$	-

Desta forma, foi possível observar que os diferentes tempos de suplementações luminosas pouco influenciaram as características fisiológicas estudadas. Tais resultados podem estar relacionados com a forma com que foram feitas as análises com o IRGA. Durante a análise foram fornecidas as mesmas condições ambientais de radiação (1500 μmol m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>), temperatura (25 °C) e concentração de CO<sub>2</sub> (400 μmol mol<sup>-1</sup>). Portanto, apesar das plantas terem sido cultivadas em ambientes com diferentes tempos de suplementação luminosa, ao fornecermos as mesmas condições ambientais, elas passam a apresentar comportamento semelhante quanto a essas variáveis.

Além disso, o horário de mensuração (durante o dia) pode ter afetado os

resultados. O mesmo foi definido por ser horário padrão de realização desse tipo de medição e porque não era possível mensurar no momento em que as plantas recebiam a suplementação luminosa, devido os tempos de luz (em segundos) e o tempo que o aparelho precisava para estabilizar. Ainda assim, acreditava-se que a suplementação luminosa durante a noite pudesse preparar a planta para o dia seguinte. Dessa forma, ao avaliar durante o dia, seria possível analisar o efeito de cada tempo sobre as plantas e não o efeito pontual da luz durante a suplementação.

A não diferença para as trocas gasosas entre os tratamentos de luz suplementar na simulação do pivô também pode ser atribuída aos tempos aplicados (20", 40", 80" e 160"), os quais foram insuficientes para promover alterações na fotossíntese de milho.

Além disso, como já mencionado, tais resultados podem estar relacionados também com a altura em que a luz suplementar foi instalada, simulando a altura do pivô (3 metros). Nos estádios iniciais, as plantas recebiam baixa intensidade da luz suplementar ( $15,25 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) (Figura 5). Dessa forma, baixa intensidade luminosa promove limitação de algumas respostas morfofisiológicas das plantas (ZHENG e LABEKE, 2018).

Por outro lado, quando as plantas atingiam uma altura que possibilitava a máxima utilização da fluência de fótons (próximo ao refletor), as mesmas já se encontravam na fase reprodutiva com as suas folhas já formadas. Portanto, a luz suplementar não foi capaz de promover respostas morfofisiológicas nas plantas de milho.

No entanto, outras avaliações, tais como hormonais, concentração de amido, bem como a utilização de outros aparelhos, se possível, no momento da suplementação luminosa, podem fornecer melhores explicações sobre como essa tecnologia influencia no comportamento fisiológico da planta de milho.

#### **4 CONCLUSÃO**

Os diferentes tempos de suplementação luminosa com LEDs não afetaram a fotossíntese da cultura do milho.

## 5 REFERÊNCIAS

- AHMED, H. A.; YU-XIN, T.; QI-CHANG, Y. Optimal control of environmental conditions affecting lettuce plant growth in a controlled environment with artificial lighting: A review. *South African Journal of Botany*.130:75-89, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.12.018>.
- ANDRIOLO, J. L.; STRECK, N. A.; BURIOL, G. A.; LUDKE, L.; DUARTE, T. S. Growth, development and drymatter distribution of a tomato crop as affected by environment. *Journal of Horticultural Science & biotechnology*. V. 73, n. 1, p. 125- 130, 2015. <https://doi.org/10.1080/14620316.1998.11510954>.
- BIAN, Z.; JIANG, N.; GRUNDY, S.; LU, C. Uncovering LED light effects on plant growth: New angles and perspectives – LED light for improving plant growth, nutrition and energy-use efficiency. *Acta Horticulturae*, n. 1227, p. 491-498, 2018. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.62>.
- DEKALB. Disponível em: <https://www.dekalb.com.br>. Acesso em: 13 mar. 2023.
- EMBRAPA MILHO E SORGO. Cultivo do Milho – Dados do Sistema de Produção. Brasília: Embrapa Milho e Sorgo, 331p., 2015.
- FANCELLI, A. L. Ecofisiologia, Fenologia e Implicações básicas de manejo. In: Milho: do plantio à colheita. 2. ed. atual. e ampl. Viçosa: UFV. 2017. p. 50-56.
- FREITAS, I. S.; ROLDÁN, G. Q.; MACEDO, A. C.; MELLO, S. C. The responses of photosynthesis, fruit yield and quality of mini-cucumber to LED-interlighting and grafting. *Horticultura Brasileira*, v. 39, n.1, 2021. <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210113>.
- GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. Milho do plantio à colheita. 2. ed. Viçosa, MG: Editora Ufv, 382 p., 2017.
- KÖPPEN, W. Climatologia. Tradução: Pedro R. H. Perez. Buenos Aires, Panamericana, 478p., 1948.
- LANDI, M.; ZIVCAK, M.; SYTAR, O.; BRESTIC, M.; ALLAKHVERDIEV, S. I. Plasticity of photosynthetic processes and the accumulation of secondary metabolites in plants in response to monochromatic light environments: A review. *Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics*, v. 1861, n.2, p. 148131, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.bbabbio.2019.148131>
- SILVA, T.D.; BATISTA, D. S.; FORTINI, E. A.; CASTRO, K. M.; FELIPE, S. H. S.; FERNANDES, A. M.; SOUSA, R. M. J.; CHAGAS, K.; SILVA, J. V. S.; CORREIA, L.

N. F.; FARIAS, L. M.; LEITE, J. P. V.; ROCHA, D. I.; OTONI, W. C. Blue and red light affects morphogenesis and 20- hydroxyecdisonone content of in vitro *Pfaffia glomerata* accessions. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, v. 203, p. 111761, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111761>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. Ed. Porto Alegre: Artmed, 918 p., 2017.

WANG, P.; CHEN, S.; GU, M.; CHEN, X.; CHEN, X.; YANG, J.; ZHAO, F.; YE, N. Exploration of the effects of different blue led light intensities on flavonoid and lipid metabolism in tea plants via transcriptomics and metabolomics. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 21, n. 13, p. 1–18, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijms21134606>.

ZHENG, L.; VAN LABEKE, M. C. Effects of different irradiation levels of light quality on *Chrysanthemum*. *Scientia horticultrae*, v. 233, p. 124–131, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.033>.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os tempos de suplementação luminosa não proporcionaram diferenças nas variáveis estudadas no estádio vegetativo (V8) da safra. A falta de significância entre os tempos de luz pode ter sido devido ao fato do milho apresentar um crescimento inicial lento, com área foliar pequena e, portanto, menor utilização da radiação. Além disso, a intensidade da luz e duração da suplementação luminosa podem ter sido baixas. A taxa de fluência que atingia as plantas nos estádios iniciais era muito inferior em relação à taxa de fluência próxima ao refletor (3,81%) e da taxa de fluência existente na sobre a superfície terrestre (0,76%).

Diferentemente, na safrinha foi possível observar efeito da suplementação luminosa no estádio vegetativo (V8). Tais resultados eram esperados, uma vez que, na safrinha as condições climáticas são diferentes comparadas com a safra, com menor temperatura, chuva e, principalmente, luminosidade (dias mais curtos).

No estádio reprodutivo (VT/R1) o tratamento com luz suplementar a noite toda apresentou os maiores valores de altura e comprimento de entrenós e os menores valores de matéria fresca da parte reprodutiva e matéria seca da parte reprodutiva na safra. Entretanto, não houve diferença no número de entrenós. Tais resultados podem ser atribuídos à produção de hormônios nas plantas de milho, estimulada pela luz suplementar. Dentre os hormônios, pode-se citar a giberelina, responsável pelo crescimento e desenvolvimento de plantas.

Tanto a suplementação luminosa por 160" quanto 4 horas e noite toda promovem uma série de alterações na morfologia e fenologia da planta, atrasando a emissão de órgãos reprodutivos e reduzindo a produtividade do milho.

Como o milho é uma planta de metabolismo fotossintético C4, respondendo positivamente ao aumento da intensidade luminosa, sem que haja saturação, esperava-se que a extensão da duração do dia aumentasse sua produção. Porém, a ausência de luz é importante para as plantas, uma vez que, é nesse período que ocorre a degradação do amido em açúcares, que serão utilizados no seu desenvolvimento.

Em geral, as características morfológicas de milho obtidas sem luz suplementar foram iguais às obtidas na suplementação luminosa com LED (75/25) na safra de safrinha. Portanto, o melhor manejo da cultura ainda continua sendo sem a utilização de luz suplementar. Isso pode ser devido à baixa intensidade e duração da

suplementação, conforme já mencionado.

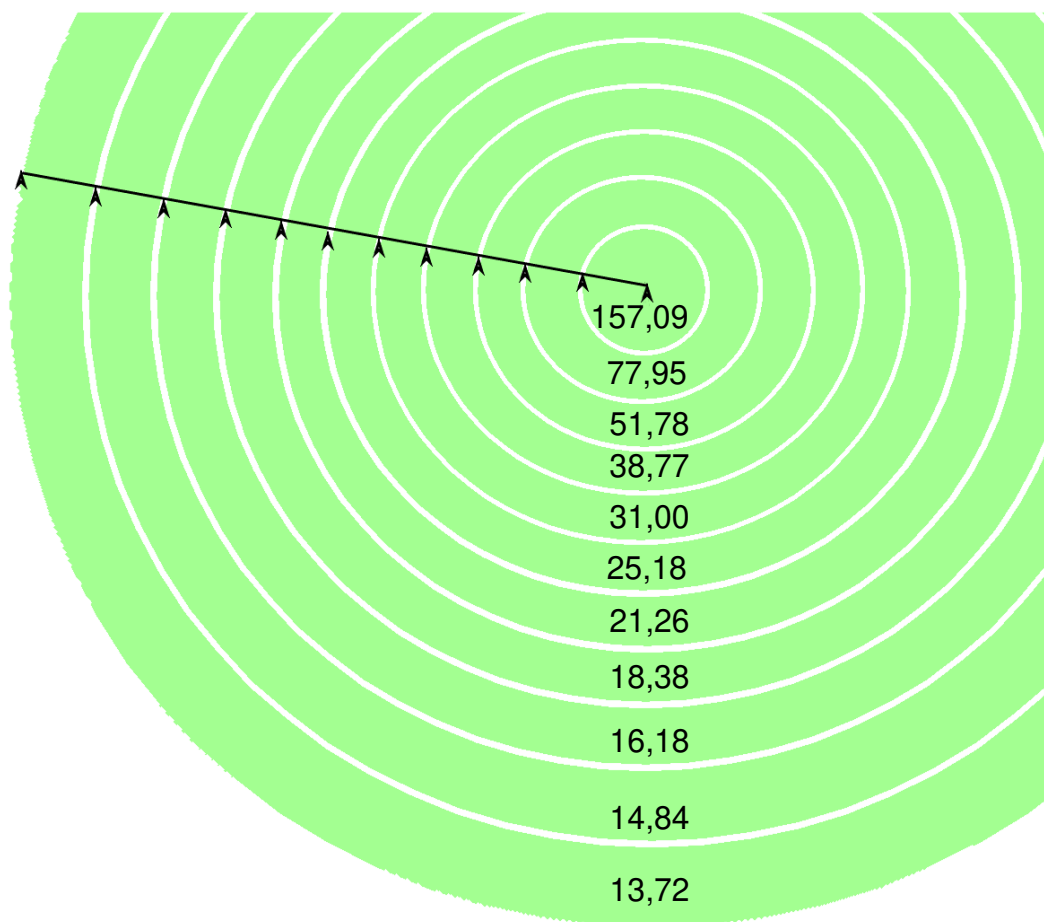
Em relação aos tempos de exposição à luz suplementar na simulação do pivô (20", 40", 80" e 160"), observa-se que em ambos experimentos e em ambos os estádios fenológicos avaliados, plantas com menor tempo de suplementação luminosa (20") tendiam a apresentar melhores características morfológicas bem como alguns componentes de produção. Por outro lado, plantas com maior tempo de suplementação luminosa (160") tendiam a apresentar atraso na emissão dos órgãos reprodutivos. Portanto, a suplementação luminosa quando aplicada via pivô, pode causar desuniformidade no crescimento e desenvolvimento de milho.

A suplementação com luz artificial tem sido realizada principalmente em plantas hortícolas, em especial a cultura do alface e plantas medicinais. Nessas plantas, sua utilização pode ser vantajosa pois o objetivo principal é produção de matéria fresca e/ou seca. Contudo, no milho, o objetivo principal é a produção de grãos. Desta forma, tais resultados indicam que a suplementação luminosa via pivô central não é eficiente para a cultura do milho.

Em relação às trocas gasosas, avaliada somente no experimento safrinha, os diferentes tempos de suplementações luminosas pouco influenciaram as características fisiológicas estudadas.

Portanto, fica evidente que o milho tem sua fenologia e características morfológicas afetadas negativamente pela suplementação luminosa a noite toda na safra e 4 horas na safrinha, reduzindo sua produtividade. A suplementação luminosa na simulação do pivô promove alterações nas características morfofisiológicas e produtivas do milho, sendo que o tratamento de 20" de luz suplementar, apresentou uma tendência de melhores resultados. Portanto, a disposição das lâmpadas no pivô pode promover diferentes resultados na cultura, sendo que aquelas fixadas nas torres mais próximas da base, tendem a promover maiores efeitos negativos na cultura do milho.

## APÊNDICE



**Apêndice A** - Tempo gasto, em segundos, por cada torre de um pivô de 100 hectare para percorrer 1m<sup>2</sup>.