

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Suplementação luminosa no desenvolvimento, fisiologia e componentes
produtivos de milho verde**

Dreice Nascimento Gonçalves
Doctor Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

DREICE NASCIMENTO GONÇALVES

**Suplementação luminosa no desenvolvimento, fisiologia e componentes
produtivos de milho verde**

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: Joao Carlos Cardoso Galvao

Coorientadores: Ariana Mota Pereira
Orismário L. Rodrigues
Emerson Trogello
Paulo Roberto Cecon

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

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

T

G635s
2024
Gonçalves, Dreice Nascimento, 1993-
Suplementação luminosa no desenvolvimento, fisiologia e
componentes produtivos de milho verde / Dreice Nascimento
Gonçalves. – Viçosa, MG, 2024.
1 tese eletrônica (59 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: João Carlos Cardoso Galvão.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Agronomia, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.035>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Milho - Fenologia. 2. Milho - Crescimento - Efeito da
luz. 3. Carboidratos - Metabolismo. 4. Folhas - Anatomia.
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. 578.42

DREICE NASCIMENTO GONÇALVES

Suplementação luminosa no desenvolvimento, fisiologia e componentes produtivos de milho verde

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: 28 de novembro de 2024.

Assentimento:

Dreice Nascimento Gonçalves
Autora

Joao Carlos Cardoso Galvao
Orientador

Essa tese foi assinada digitalmente pela autora em 27/01/2025 às 17:29:24 e pelo orientador em 29/01/2025 às 16:27:22. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **9XZW.K2Q9.1V4L** e clique no botão 'Validar documento'.

Ao Meu esposo, Renan, pelo apoio, amor e companheirismo.
Aos meus pais, Galdino e Maria, pelo amor e dedicação incondicional.
À minha "voinha" Maria Senhora, que sempre orou por minhas conquistas e saúde.
Aos meus irmãos, Daiane e família, Douglas e família e Daís, pelo estímulo e
confiança.
Aos meus mestres, pelos ensinamentos e orientações.
DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me capacitar e me mostrar que tudo ocorre para Tua Graça, e a Virgem Santíssima pela intercessão e cuidado junto a teu filho Jesus.

Ao meu esposo, Hosnerson Renan, que sempre me apoiou nessa longa caminhada, e pelo amor, confiança, carinho e companheirismo a mim dedicados.

Aos meus pais Galdino e Maria das Neves, por nunca medirem esforços para que eu pudesse realizar meus sonhos. E à minha "voinha" Maria, que é uma segunda mãe, e que sempre orar por mim e por meus sonhos.

Aos meus irmãos, Daiane, Douglas e Daís, e meus cunhados Felipe e Carla, pela escuta ativa, carinho e incentivo em toda a minha jornada acadêmica.

Aos meus sobrinhos Davi Felipe e João Miguel, e aos meus afilhados Teodoro, Laura e Leonardo, por trazerem mais amor, luz, fé e união à nossa grande família.

Ao Professor Dr. João Carlos, que mais do que um orientador, se tornou um grande amigo, que me ensina a sempre ter calma, respirar e continuar.

À Professora Dra. Ariana Mota, pela coorientação, ombro amigo e por segurar a minha mão no decorrer do trabalho.

Ao Prof. Dr. Paulo Roberto Cecon por tirar todas as dúvidas em relação a estatística, pelas sugestões e coorientação.

À banca de defesa, em especial Profa Lucilene Oliveira, Profa Raquel Barro e Dra Patrícia Carvalho por terem aceito participar desse momento fundamental e pelas valiosas contribuições para o trabalho.

Às meninas que formam o meu quarteto favorito — Ari, Dudinha e Lulu — agradeço a Deus pela vida de cada uma de vocês, por serem quem são e por me fazerem sentir especial.

Aos amigos que fiz durante essa jornada de estudos e pesquisa, agradeço o apoio, ajuda e momentos de descontração: Andréa Carla, Felipe Douglas, Josiele Botelho, Liliane Marques, Nicolás, Patrícia Carvalho e Victor. Sem vocês essa jornada seria sem graça.

Às integrantes da minha querida República do Mundial Forever, Ana, Carlinha e Eva, pela amizade e bons momentos de curtição e convívio.

Aos amigos que sempre estiveram comigo, Frei Adonias, Lucas, Paula Acácia e Tandara vocês são parte essencial da minha história.

Às queridas amigas que conquistei durante o período de estágio: Alan, Andreza, Beto, Gabriella, Giovanna, Íthalo, Lucas, Micaela, Michele, Oscar, Pollyanna e Valéria.

Aos funcionários do Vale da Agronomia por todo o apoio e por sempre estarem dispostos a ajudar: Alessandra, Guilherme e Sr. Eli.

À Universidade Federal de Viçosa por ter possibilitado desenvolver este trabalho e realizar o meu doutorado.

A todos os professores que compartilharam seus conhecimentos e aos que fazem parte do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da UFV.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa, muito obrigada!

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

“Mas quando o sonho é de Deus, ninguém destruirá.
Se Ele prometeu, também cumprirá.”
(Frei Gilson)

RESUMO

GONÇALVES, Dreice Nascimento, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2024. **Suplementação luminosa no desenvolvimento, fisiologia e componentes produtivos de milho verde**. Orientador: Joao Carlos Cardoso Galvao. Coorientadores: Ariana Mota Pereira, Orismário Lúcio Rodrigues, Emerson Trogello e Paulo Roberto Cecon.

Esta tese foi dividida em dois capítulos: Capítulo I – Objetivou-se avaliar as características de crescimento, metabolismo de carboidratos das folhas, parâmetros fotossintéticos e produção de plantas de milho cultivados na 1ª e 2ª safra em condições de suplementação luminosa, fornecida em diferentes estádios fenológicos do milho. O experimento foi conduzido em campo na safra 2022/23, sob delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Foram avaliados cinco tempos de suplementação luminosa (0, 20, 40, 80 e 160 segundos), que correspondiam aos tempos/m² do percurso das torres de pivô central e um tempo adicional de três horas de luz, que foram aplicados durante 7 dias, seguindo um intervalo de 7 dias entre as aplicações dos tratamentos, iniciando quando 50% da área estava no estádio V4. Na 1ª safra as avaliações de crescimento foram realizadas nos estádios V4, V8, V10 e VT e na 2ª safra as avaliações de crescimento foram realizadas nos estádios V4, V8, V10, V12 e VT. Após atingir o pendoamento, foi realizada aplicação diária até a colheita no ponto de milho-verde (R3), onde se realizou as avaliações de produtividade. As características avaliadas foram: altura da planta, diâmetro do colmo, área foliar, índice de clorofila a, b e total, massa fresca e seca da parte vegetativa, reprodutiva e total, número de entrenós, altura de inserção da espiga, número e comprimento de entrenós, comprimento e diâmetro de espiga, número e peso de espiga de espigas sem palha ha⁻¹, açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR) e amido da folha; taxa fotossintética, transpiratória e condutância estomática. A suplementação luminosa com três horas promove aumento da área foliar e altura de inserção da espiga. Porém, causa redução da massa fresca e seca da parte reprodutiva, bem como no diâmetro do colmo e da espiga de milho. A resposta morfológica da planta a suplementação de luz por três horas e em pulsos depende do estádio de desenvolvimento da planta de milho. No entanto, a suplementação luminosa com LEDs por três horas e em pulsos não afeta a fotossíntese e não proporciona aumento produtivo para a cultura do milho. Capítulo II – Objetivou-se nesta pesquisa avaliar a influência da suplementação luminosa, fornecida em diferentes estádios fenológicos do milho, sobre as características de crescimento, metabolismo de carboidratos das folhas, parâmetros fotossintéticos e produção de plantas

de milho cultivados na 1ª e 2ª safra. Para isso, foram avaliados cinco tempos de suplementação luminosa (0, 20, 40, 80 e 160 segundos), que correspondiam aos tempos/m² do percurso das torres de pivô central de irrigação. Os tratamentos foram aplicados em intervalos de sete dias durante os estádios vegetativos, iniciando quando 50% da área estava no estágio V4. Na 1ª safra as avaliações de crescimento realizaram-se nos estádios V4, V8, V10 e VT e na 2ª safra as avaliações de crescimento foram realizadas nos estádios V4, V8, V10, V12 e VT. Após atingir o pendoamento (VT), foi realizada aplicação diária até a colheita no ponto de milho-verde (R3), onde se realizou as avaliações de produtividade. Foram analisadas: altura da planta, diâmetro do colmo, área foliar, índice de clorofila a, b e total, massa fresca e seca da parte vegetativa, reprodutiva e total, número de entrenós, altura de inserção da espiga, açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR) e amido da folha; taxa fotossintética e transpiratória; comprimento e diâmetro de espiga, número e peso de espiga de espigas sem palha ha-1. Os pulsos luminosos (20s, 40s, 80s e 160s), aplicados no milho promovem modificações na concentração de clorofila “b”, número de entrenós, comprimento de espiga, massa seca da parte reprodutiva e nos teores de açúcares solúveis totais, açúcares redutores e amido das plantas de milho. O aumento progressivo nos pulsos luminosos é capaz de estimular o ganho de massa seca da parte reprodutiva e de aumentar o número de entrenós da planta de milho. Embora o milho seja responsivo ao incremento luminoso, a pulsação de luz por alguns segundos durante a noite foi insuficiente para aumentar para gerar alterações morfológicas e fisiológicas que promovessem o aumento produtivo para a cultura do milho. O fornecimento de luz suplementar via pivô central de irrigação na cultura do milho, ainda necessita de mais estudos para validar a eficiência dessa tecnologia para obter ganhos de produtividade desse cereal.

Palavras-chave: luz artificial; ; diodos emissores de luz; ; fenologia; ; metabolismo de carboidratos.

ABSTRACT

GONÇALVES, Dreice Nascimento, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2024. **Light supplementation on the development, physiology and productive components of green corn.** Adviser: Joao Carlos Cardoso Galvao. Co-advisers: Ariana Mota Pereira, Orismário Lúcio Rodrigues, Emerson Trogello and Paulo Roberto Cecon.

This thesis was divided into two chapters: Chapter I – The objective of this study was to evaluate the growth characteristics, leaf carbohydrate metabolism, photosynthetic parameters and production of corn plants grown in the 1st and 2nd harvests under light supplementation conditions, provided at different phenological stages of corn. The experiment was conducted in the field in the 2022/23 harvest, under a randomized block design, with four replications. Five times of light supplementation were evaluated (0, 20, 40, 80 and 160 seconds), which corresponded to the times/m² of the central pivot towers' path and an additional time of three hours of light, which were applied during 7 days, following a 7-day interval between treatment applications, starting when 50% of the area was at the V4 stage. In the 1st harvest, growth assessments were performed at the V4, V8, V10 and VT stages and in the 2nd harvest, growth assessments were performed at the V4, V8, V10, V12 and VT stages. After reaching tasseling, daily application was performed until harvest at the sweetcorn point (R3), where productivity assessments were performed. The evaluated characteristics were: plant height, stem diameter, leaf area, chlorophyll a, b and total index, fresh and dry mass of the vegetative, reproductive and total parts, number of internodes, ear insertion height, number and length of internodes, ear length and diameter, number and weight of ears without straw ha⁻¹, total soluble sugars (AST), reducing sugars (AR), non-reducing sugars (ANR) and leaf starch; photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance. Light supplementation for three hours promotes an increase in leaf area and ear insertion height. However, it causes a reduction in fresh and dry mass of the reproductive part, as well as in the diameter of the stalk and ear of corn. The morphological response of the plant to light supplementation for three hours and in pulses depends on the development stage of the corn plant. However, light supplementation with LEDs for three hours and in pulses does not affect photosynthesis and does not provide increased production for the corn crop. Chapter II – This research aimed to evaluate the influence of light supplementation, provided at different phenological stages of corn, on growth characteristics, leaf carbohydrate metabolism, photosynthetic parameters and production of corn plants grown in the 1st and 2nd harvest. For this purpose, five times of light supplementation

were evaluated (0, 20, 40, 80 and 160 seconds), corresponding to the times/m² of the path of the central pivot irrigation towers. The treatments were applied at seven-day intervals during the vegetative stages, starting when 50% of the area was at the V4 stage. In the 1st harvest, growth evaluations were carried out at the V4, V8, V10 and VT stages and in the 2nd harvest, growth evaluations were carried out at the V4, V8, V10, V12 and VT stages. After reaching tasseling (VT), daily application was carried out until harvest at the sweetcorn point (R3), where productivity assessments were performed. The following were analyzed: plant height, stalk diameter, leaf area, chlorophyll a, b and total index, fresh and dry mass of the vegetative, reproductive and total parts, number of internodes, ear insertion height, total soluble sugars (AST), reducing sugars (AR), non-reducing sugars (ANR) and leaf starch; photosynthetic and transpiration rate; ear length and diameter, number and weight of ears without straw ha⁻¹. Light pulses (20s, 40s, 80s and 160s) applied to corn promote changes in the concentration of chlorophyll "b", number of internodes, ear length, dry mass of the reproductive part and in the contents of total soluble sugars, reducing sugars and starch of corn plants. The progressive increase in light pulses is capable of stimulating the gain of dry mass of the reproductive part and increasing the number of internodes of the corn plant. Although corn is responsive to increased light, light pulses for a few seconds during the night were insufficient to generate morphological and physiological changes that would promote increased productivity for the corn crop. The provision of supplemental light via central pivot irrigation in corn crops still requires further studies to validate the efficiency of this technology to obtain productivity gains for this cereal.

Keywords: artificial light; ; light-emitting diodes; ; phenology; ; carbohydrate metabolism.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

- Figura 1 - Tempo, em segundos, que cada torre de um pivô de 100 hectares leva para percorrer 1 m²..... 21
- Figura 2 - Radiação (KJ/m²), Precipitação (mm), Temperatura máxima, média e mínima (°C) e Umidade máxima, média e mínima (%) registradas, por decêndio, durante o período de condução dos ciclos de avaliação, de outubro de 2022 a maio de 2023 em Viçosa – MG. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)..... 23

Capítulo II

- Figura 1 - Tempo, em segundos, que cada torre de um pivô de 100 hectares leva para percorrer 1 m²..... 38
- Figura 2 - Radiação (KJ/m²), Temperatura máxima, média e mínima (°C), Precipitação (mm) e Umidade máxima, média e mínima (%) registradas, por decêndio, durante o período de condução dos ciclos de avaliação, de outubro de 2022 a maio de 2023 em Viçosa – MG. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)..... 40
- Figura 3 - Clorofila “b” V4 (Clor b) 1^a safra (A), Massa Seca Parte Reprodutiva (MSPR) 2^a safra (B) Número de entrenós (N^o entrenós) 1^a safra (C) e Comprimento de espiga (C ESP) 1^a safra em função da suplementação artificial de luz..... 44
- Figura 4 - Açúcares solúveis totais (AST V8) 1^a safra (A), Amido V8 1^a safra (B) e Açúcares redutores (AR VT) 2^a safra (C) em função da suplementação artificial de luz..... 45

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1 -	1ª safra - massa fresca da parte reprodutiva (MFPR- R1), massa seca da parte reprodutiva (MSPR – R1) e altura de inserção da espiga (AIE – R1). 2ª safra - diâmetro do colmo (DC - V4), área foliar (AF - VT) em função da suplementação artificial de luz.....	26
Tabela 2 -	1ª safra - Clorofila “b” (Clor b – V4) 2ª safra - Clorofila “a” (Clor a – V10), Clorofila Total (Clor T – V10) Clorofila Total (Clor T – VT) em função da suplementação artificial de luz.....	27
Tabela 3 -	Porcentagem de açúcares solúveis totais (AST V8 1ª safra), açúcares redutores (AR V8 1ª safra), açúcares redutores (AR VT 2ª safra), amido (Amido V8 1ª safra) e amido (Amido VT 1ª safra) em função da suplementação artificial de luz.....	28
Tabela 4 -	Diâmetro de espiga de milho verde 1ª safra em função da suplementação artificial de luz.....	29

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	14
REFERÊNCIAS	16
Capítulo I – TECNOLOGIA DE ILUMINAÇÃO LED NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE MILHO-VERDE	17
1. INTRODUÇÃO	19
2. MATERIAL E MÉTODOS	20
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4. CONCLUSÃO	31
5. REFERÊNCIAS	32
Capítulo II. PRODUÇÃO DE MILHO-VERDE: UMA SIMULAÇÃO DA SUPLEMENTAÇÃO DE LUZ POR PIVÔ CENTRAL.....	34
1. INTRODUÇÃO	36
2. MATERIAL E MÉTODOS	37
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4. CONCLUSÃO	46
5. REFERÊNCIAS	47
CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
APÊNDICES.....	50

INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais importantes cultivados mundialmente, sendo amplamente utilizado tanto na alimentação humana e animal quanto na indústria (EMBRAPA, 2015). No Brasil, essa cultura ganha destaque por ser cultivada em quase todo território, com uma área plantada de 21,05 milhões de hectares na safra 23/24, atingiu uma produtividade de 5495 kg/ha e sua produção chegou a 115,7 milhões de toneladas (CONAB, 2024).

Pertencente ao grupo de plantas com metabolismo fotossintético C4, a planta de milho, possui uma forte dependência de luz, alta produtividade, além de um bom desempenho quando há aumento na intensidade da luz (Fancelli, 2017). O acúmulo de massa seca nas plantas está diretamente ligada a radiação solar (Romano, 2005), e uma redução de 30 a 40% da mesma por um longo período pode acarretar na redução da produção e atraso na maturação dos grãos (Bevilacqua 2012).

Por outro lado, um aumento nas horas de luz diárias prolonga a fase vegetativa da planta, favorecendo o número de folhas emergidas durante a diferenciação do pendão e o total de folhas produzidas pela planta (Cruz, et al. 2006), o qual pode resultar em um aumento na taxa fotossintética e conseqüentemente um aumento na produtividade.

Em geral o crescimento vegetativo e o metabolismo de substâncias são diretamente influenciados por condições ambientais, como qualidade, intensidade da luz, fotoperíodo e distribuição da luz (Chen, et al., 2022). Compreender como a luz promove modificações no crescimento vegetal, ainda se constitui em um estudo complexo, uma vez que a mesma ativa simultaneamente diversos tipos de fotorreceptores, como os fitocromos, criptocromos, fototropinas e fotoreceptores da UVB (Casal, 2000) os quais são responsáveis por regular diversas respostas do desenvolvimento das plantas.

As fontes de luz artificial, em contraste com a radiação solar, possibilitam a combinação de diversos espectros luminosos e intensidades de irradiação, capazes de ativar fotorreceptores para induzir as alterações morfológicas e fisiológicas desejadas nas culturas (Agarwal & Dutta, 2016).

Por ser considerada uma fonte de luz inovadora, a utilização de Diodos Emissores de Luz (LED) para estudos voltados as modificações geradas nas plantas sob diversas condições de luminosidade, configura-se como uma opção de grande potencial agrícola (Massa et al., 2008), através do fornecimento de luz na faixa de espectro ideal para que as plantas possam converter em produção (Paucek, 2020).

O uso dessa técnica permitiu o alcance de novas oportunidades para o cultivo interno de plantas, e devido a isso, testes utilizando o LED como fonte luminosa têm sido realizados a nível de campo. Entretanto, é necessário a avaliação e o aperfeiçoamento dessa tecnologia, considerando que no Brasil, particularmente em áreas abertas, essa tecnologia tem sido pouco explorada. Em trabalho avaliando o uso de suplementação luminosa, durante todas as noites do ciclo do milho, observou-se que o crescimento e desenvolvimento das plantas foi afetado negativamente, promovendo menor acúmulo de massa, plantas muito altas e até mesmo atraso ou ausência do florescimento (Carvalho, 2023).

Em razão da relevância desse tema e da escassez de estudos que comprovem a viabilidade do uso da iluminação artificial no cultivo de milho, o presente estudo buscou respostas a respeito da melhor forma de utilização dessa tecnologia, como: Quais os benefícios e impacto da aplicação de luz suplementar no cultivo de milho a nível de campo? Em qual estágio fenológico deve-se fornecer a suplementação com luz? Por quanto tempo deve ser realizado esse fornecimento?

Assim sendo, o estudo da aplicação da suplementação de forma escalonada pode ajudar a entender melhor como diferentes estágios de desenvolvimento das plantas de milho respondem a luz e como otimizar as condições de crescimento e a produção vegetal.

REFERÊNCIAS

- Agarwal, Avinash; Gupta, S. Dutta. Impact of light-emitting diodes (LEDs) and its potential on plant growth and development in controlled-environment plant production system. **Current Biotechnology**, v. 5, n. 1, p. 28-43, 2016.
- Bevilacqua, L. B. **Sazonalidade da concentração de CO₂ atmosférico em uma área agrícola no RS**. 52 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-Graduação em Física, RS, 2012.
- Casal, Jorge J. Phytochromes, cryptochromes, phototropin: photoreceptor interactions in plants. **Photochemistry and Photobiology**, v. 71, n. 1, p. 1-11, 2000.
- Carvalho, P.A. **Suplementação artificial de luz na cultura do milho**. 121 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2023.
- Chen, X. L., Li, Y. L., Wang, L. C., Yang, Q. C., & Guo, W. Z. Responses of butter leaf lettuce to mixed red and blue light with extended light/dark cycle period. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1-13, 2022.
- CONAB, Companhia Nacional De Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília - DF, v. 11 - Safra 2023/2024 – Décimo segundo levantamento, p.1-116, setembro. 2024. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>.
- Cruz, J. C., Pereira Filho, I. A., Alvarenga, R. C., Gontijo Neto, M. M., Viana, J. H. M., de Oliveira, M. F., Santana, D. P. Manejo da cultura do milho. Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2006.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistemas de Produção Embrapa – **Cultivo do milho**. ISSN 1679-012X, novembro, 2015.
- 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.
- Massa G.D; Kim H. H; Wheeler R. M; Mitchell C. A. Plant productivity in response to LED lighting, **Hortscience**, v. 43 p. 1951-1956, 2008.
- Paucek, I. et al. Supplementary LED interlighting improves yield and precocity of greenhouse tomatoes in the Mediterranean. **Agronomy**, v. 10, n. 7, p. 1002, 2020.
- Romano, M. R. **Desempenho fisiológico da cultura de milho com plantas de arquitetura contrastante: parâmetros para modelos de crescimento**. Piracicaba, 2005. 100 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

CAPÍTULO I – TECNOLOGIA DE ILUMINAÇÃO LED NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE MILHO-VERDE

RESUMO: A utilização de LEDs como iluminação suplementar no campo tem sido alvo de muita discussão a respeito da produtividade das culturas. Para a cultura do milho ainda se faz necessário um maior entendimento sobre o uso dessa tecnologia, afim de ser assertivo quanto a viabilidade de implementação e posicionamento da mesma. O trabalho teve por objetivo avaliar as características de crescimento, metabolismo de carboidratos das folhas, parâmetros fotossintéticos e produção de plantas de milho cultivados na 1ª e 2ª safra em condições de suplementação luminosa, fornecida em diferentes estádios fenológicos do milho. O experimento foi conduzido em campo na safra 2022/23, sob delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Foram avaliados cinco tempos de suplementação luminosa (0, 20, 40, 80 e 160 segundos), que correspondiam aos tempos/m² do percurso das torres de pivô central e um tempo adicional de três horas de luz, que foram aplicados durante 7 dias, seguindo um intervalo de 7 dias entre as aplicações dos tratamentos, iniciando quando 50% da área estava no estágio V4. Na 1ª safra as avaliações de crescimento foram realizadas nos estádios V4, V8, V10 e VT e na 2ª safra as avaliações de crescimento foram realizadas nos estádios V4, V8, V10, V12 e VT. Após atingir o pendoamento, foi realizada aplicação diária até a colheita no ponto de milho-verde (R3), onde se realizou as avaliações de produtividade. As características avaliadas foram: altura da planta, diâmetro do colmo, área foliar, índice de clorofila a, b e total, massa fresca e seca da parte vegetativa, reprodutiva e total, número de entrenós, altura de inserção da espiga, número e comprimento de entrenós, comprimento e diâmetro de espiga, número e peso de espiga de espigas sem palha ha⁻¹, açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR) e amido da folha; taxa fotossintética, transpiratória e condutância estomática. A suplementação luminosa com três horas promove aumento da área foliar e altura de inserção da espiga. Porém, causa redução da massa fresca e seca da parte reprodutiva, bem como no diâmetro do colmo e da espiga de milho. A resposta morfológica da planta a suplementação de luz por três horas e em pulsos depende do estágio de desenvolvimento da planta de milho. No entanto, a suplementação luminosa com LEDs por três horas e em pulsos não afeta a fotossíntese e não proporciona aumento produtivo para a cultura do milho.

Palavras-chave: Suplementação luminosa; fenologia, carboidratos, fotossíntese.

ABSTRACT: The use of LEDs as supplementary lighting in the field has been the subject of much discussion regarding crop productivity. For corn cultivation, it is still necessary to have a greater understanding regarding the use of this technology, in order to be assertive regarding the viability of its implementation and positioning. The aim of this study was to evaluate the growth characteristics, leaf carbohydrate metabolism, photosynthetic parameters and production of corn plants grown in the 1st and 2nd harvests under light supplementation conditions, provided at different phenological stages of corn. The experiment was conducted in the field in the 2022/23 harvest, under a randomized block design, with four replications. Five times of light supplementation were evaluated (0, 20, 40, 80 and 160 seconds), which corresponded to the times/m² of the central pivot towers' path and an additional time of three hours of light, which were applied during 7 days, following a 7-day interval between treatment applications, starting when 50% of the area was at the V4 stage. In the 1st harvest, growth assessments were performed at the V4, V8, V10 and VT stages and in the 2nd harvest, growth assessments were performed at the V4, V8, V10, V12 and VT stages. After reaching tasseling, daily application was performed until harvest at the sweetcorn point (R3), where productivity assessments were performed. The evaluated characteristics were: plant height, stem diameter, leaf area, chlorophyll a, b and total index, fresh and dry mass of the vegetative, reproductive and total parts, number of internodes, ear insertion height, number and length of internodes, ear length and diameter, number and weight of ears without straw ha⁻¹, total soluble sugars (AST), reducing sugars (AR), non-reducing sugars (ANR) and leaf starch; photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance. Light supplementation for three hours promotes an increase in leaf area and ear insertion height. However, it causes a reduction in fresh and dry mass of the reproductive part, as well as in the diameter of the stalk and ear of corn. The morphological response of the plant to light supplementation for three hours and in pulses depends on the development stage of the corn plant. However, light supplementation with LEDs for three hours and in pulses does not affect photosynthesis and does not provide increased production for the corn crop.

Keywords: Light supplementation; phenology, carbohydrates, photosynthesis.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos principais cereais cultivados no mundo, caracterizada como uma espécie de metabolismo C4, que responde com altos rendimentos ao aumento da disponibilidade luminosa (Fancelli, 2017). A tecnologia de iluminação artificial vem sendo utilizada para o fornecimento de luz no espectro fotossinteticamente ativo visando estimular a fotossíntese da planta, em condições de dias nublados, onde ocorre redução na disponibilidade de luz natural (Hasan, et al., 2017).

Ademais, pode aumentar o número de horas de luz (Bian et al., 2018) mantendo a taxa fotossintética das plantas por maior período de tempo (Yang et al., 2017), levando a incrementos na produção em espécies insensíveis ao fotoperíodo como o milho. Nos Estados Unidos, maior produtor mundial desse grão, a localização das áreas de produção apresenta fotoperíodo de até 16h, que permite uma maior densidade de plantio, o que vem sendo apontado como algumas das razões para a maior produtividade dessas regiões.

Entre as fontes luminosas utilizadas, os diodos emissores de luz (LED), tem se destacado por serem fontes de luz com emissão fria, baixo consumo de energia elétrica e intensidade e qualidade de luz dentro da radiação fotossinteticamente ativa (400 a 700 nm) (Mitchell et al., 2012).

A aplicação de LED em ambiente controlado já é uma técnica consolidada e tem apontado efeitos positivos nas características de crescimento, produtividade e valor nutricional em olerícolas e microverdes (Ahmed et al., 2020; Freitas et al., 2021; Zhang et al., 2020). Sendo os efeitos da suplementação variável: com a espécie vegetal (Xu et al., 2015), o estágio de desenvolvimento no qual a planta foi exposta ao espectro luminoso (Simlat et al., 2016) e condições de cultivo (Ma et al., 2021).

Em trabalho pioneiro avaliando o uso da suplementação luminosa na cultura do milho, Carvalho (2023), chegou à conclusão que mais estudos são necessários para a utilização dessa tecnologia no milho, sendo o efeito nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas, uma das principais lacunas.

Assim, visando a viabilidade e eficiência do fornecimento dessa luz via pivô de irrigação, é necessário esclarecer a forma de aplicação apropriada e a sua influência sobre a fotossíntese, metabolismo de carboidratos e os reflexos nos fatores produtivos da cultura.

Dessa forma, o objetivo da pesquisa foi avaliar as características de crescimento, metabolismo de carboidratos das folhas, parâmetros fotossintéticos e produção de plantas de

milho cultivados na 1ª e 2ª safra em condições de suplementação luminosa, fornecida em diferentes estádios fenológicos do milho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em dois ciclos de cultivo, sendo o primeiro na primeira safra e o segundo na segunda safra do ano agrícola 2022/2023 em área experimental da Unidade de Ensino e Pesquisa Diogo Alves de Melo da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - Minas Gerais, Brasil, latitude sul de 20 ° 45 ', longitude oeste de 42 ° 51 ', a altitude de 693 m. O clima da região é caracterizado como tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno (Köppen, 1948).

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, textura argilosa, com características químicas (camada de 0-20): pH em água 6,70; 29,10 mg dm⁻³ de P; 110 mg dm⁻³ de K; 3,61 cmolc dm⁻³ de Ca; 0,94 cmolc dm⁻³ Mg; 0,0 cmolc dm⁻³ de Al³⁺; 2,31 cmolc dm⁻³ de H + Al; 4,83 cmolc dm⁻³ de soma de bases (SB); 4,83 cmolc dm⁻³ de CTC Efetiva; 7,14 cmolc dm⁻³ de CTC Potencial; 67,6% de saturação por bases (V); 0% de índice de saturação de alumínio (m); 2,42 dag Kg de matéria orgânica. As determinações foram efetuadas conforme a EMBRAPA (1997); pH em água (na proporção de 1:2,5 para solo: água), Ca, Mg e Al extrator (extrator KCL 1N), P e K (extrator Mehlich 1) e acidez extraível (H + Al) extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L.

Na 1ª safra o híbrido utilizado foi o DKB360 PRO3 e na 2ª safra o NS80 VIP3, ambos os híbridos de ciclo precoce e com tolerância ao complexo do enfezamento. As sementes primeiramente foram tratadas com CropStar® (imidacloprida/tiodicarbe) na proporção de 15 mL Kg⁻¹ de semente. A semeadura em ambas as safras foi realizada no sistema de plantio direto, sendo distribuídas 4 sementes m⁻¹ e adubação 400 kg/ha da fórmula NPK 8-28-16. Posteriormente realizou-se o desbaste manual das plântulas para uma densidade de 60000 plantas ha⁻¹ na 1ª safra e 50000 plantas ha⁻¹ na 2ª safra.

As adubações de cobertura foram aplicadas no estágio V4 (quatro folhas completamente desenvolvidas), utilizando uma dosagem de 108 kg N ha⁻¹ na forma de ureia.

Para o controle de plantas daninhas em ambas as safras, no estágio V3 (três folhas desenvolvidas) do milho foram realizadas aplicações de Roundup original® (sal di-amônio de glifosato) e Aclamado BR® (atrazina) na proporção de 4 L ha⁻¹ do produto comercial de cada herbicida. Na 1ª safra, ao atingir o estágio V6 (seis folhas desenvolvidas) do milho, para o controle de pragas, foi aplicado o inseticida Decis® (deltametrina) na dosagem de 200 mL ha⁻¹

do produto comercial. Para a 2ª safra o controle de pragas foi realizado com o uso dos produtos comerciais Connect® (imidacloprido/beta-ciflutrina), Polytrin® (profenofós/cipermetrina) e Octane® (*Isaria fumosorosea*), nas respectivas dosagens de 750 mL ha⁻¹, 400 mL ha⁻¹ e 500 mL ha⁻¹ de cada produto.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas de 5 m de comprimento x 5 m de largura, perfazendo uma área de 25 m², contendo 10 fileiras espaçadas de 50 cm. A área útil foi composta por 18 plantas e correspondia a três m².

Os tratamentos foram compostos por cinco pulsos de luz com lâmpadas LEDs (0, 20; 40; 80; 160 segundos) a partir das 21 horas. Esses tempos foram determinados em função dos diferentes tempos que as torres do pivô levam para cobrir uma área de 1 m², como descrito no trabalho de Carvalho (2023), sendo esse tempo maior na base (157.09 s/m²) e menor na ponta do pivô (13.72 s/m²) (Figura 1). Além desses tempos, foi adicionado um tratamento com três horas de suplementação luminosa, com o intuito de simular as condições de fotoperíodo com 16h de luz.

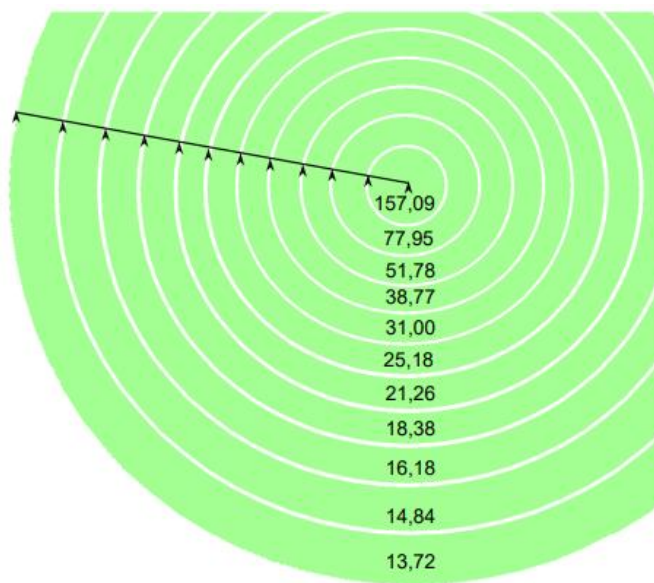


Figura 1 - Tempo, em segundos, que cada torre de um pivô de 100 hectares leva para percorrer 1 m².

Para aplicação dos tratamentos utilizou-se por parcela um módulo de diodo emissor de luz (LED), com tamanho de 25 x 7,1 cm, adquiridos da empresa Audax Electronics, que foram instalados em refletores juntamente com seus respectivos drivers, sendo fixados em postes de madeira situados no centro da parcela, numa altura de três metros, simulando a altura de fixação no pivô. O fluxo de fótons dos módulos era de 400 μmol.m⁻².s⁻¹, na

proporção de luz 75% vermelha (~660nm) + 25% azul (~450nm) (V:A 75/25), e o consumo de 54 W.

Para avaliação da taxa de fluência de fótons incidente sobre as plantas realizou-se às 20 horas mensurações por meio do aparelho termo-radiômetro (LI-1400, LI-COR®, inc., Lincoln, Nebraska, USA), nas alturas de 0.90, 1.80 e 2.70 m de altura, obtendo-se uma média das leituras de de 18,45 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, 28,13 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, 396,75 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, respectivamente. Essas mensurações foram realizadas e correspondiam as alturas das plantas nos estádios V8, V12 e VT.

Os pulsos de luz (0, 20; 40; 80; 160 segundos) e a suplementação de luz por três horas com lâmpadas LED foram aplicados durante 7 dias, seguindo um intervalo de 7 dias entre as aplicações dos tratamentos, iniciando quando 50% da área estava no estádio V4 e indo até o pendoamento (VT). Na 1ª safra as avaliações foram realizadas nos estádios V4, V8, V10 e VT e na 2ª safra as avaliações foram realizadas nos estádios V4, V8, V10, V12 e VT. Após atingir o pendoamento, em ambas as safras, foi realizada aplicação diária até o estágio R3, uma vez que as plantas já atingiram a sua área foliar máxima.

Ao longo dos ciclos de cultivo, foram coletados a cada 10 dias os dados climáticos radiação acumulada (KJ/m^2), precipitação (mm), temperatura máxima, média e mínima ($^{\circ}\text{C}$) e umidade máxima, média e mínima (%), que estão apresentados na Figura 1. A 1ª safra teve início em 06/10/2022 finalizou no dia 04/01/2023. Já a 2ª safra iniciou no dia 23/02/2023 e finalizou no dia 01/06/2023.

A radiação solar durante a condução da 1ª safra variou entre 14.371,23 e 21.600,64 $\text{KJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$, com uma média de 17.478,86 $\text{KJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$. Na 2ª safra, a variação da radiação solar foi de 11.870,61 a 19.517,86 $\text{KJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$, com uma média de 15.513,92 $\text{KJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$ (Figura 2A).

Na 1ª safra, a média de precipitação foi de 8,51 mm.dia^{-1} e na 2ª safra de 2,04 mm.dia^{-1} , (Figura 2B). Para a fase inicial de cultivo e estabelecimento da cultura na 1ª safra foram realizadas duas irrigações suplementares. Já na 2ª safra foram realizadas 2 irrigações por semana até o estádio V8 (oito folhas desenvolvidas). Após esse estádio as irrigações foram suspensas para que a água da irrigação via aspersor não danificasse as folhas das plantas de milho. Em ambos os cultivos a lâmina d'água fornecida foi de 4 mm dia^{-1} .

A variação das temperaturas máximas, médias e mínimas do ar, por decêndio, em ambas as safras são apresentadas na Figura 2C. A faixa de temperatura média durante a 1ª safra variou de 20,0 a 22,9 $^{\circ}\text{C}$ e de 15,9 a 23,1 $^{\circ}\text{C}$ na 2ª safra.

A variação das umidades máximas, médias e mínimas do ar, apresentaram variação de 76,6 a 88,4% durante a condução da 1ª safra e de 79,4 a 86,3% na 2ª safra (Figura 2D).

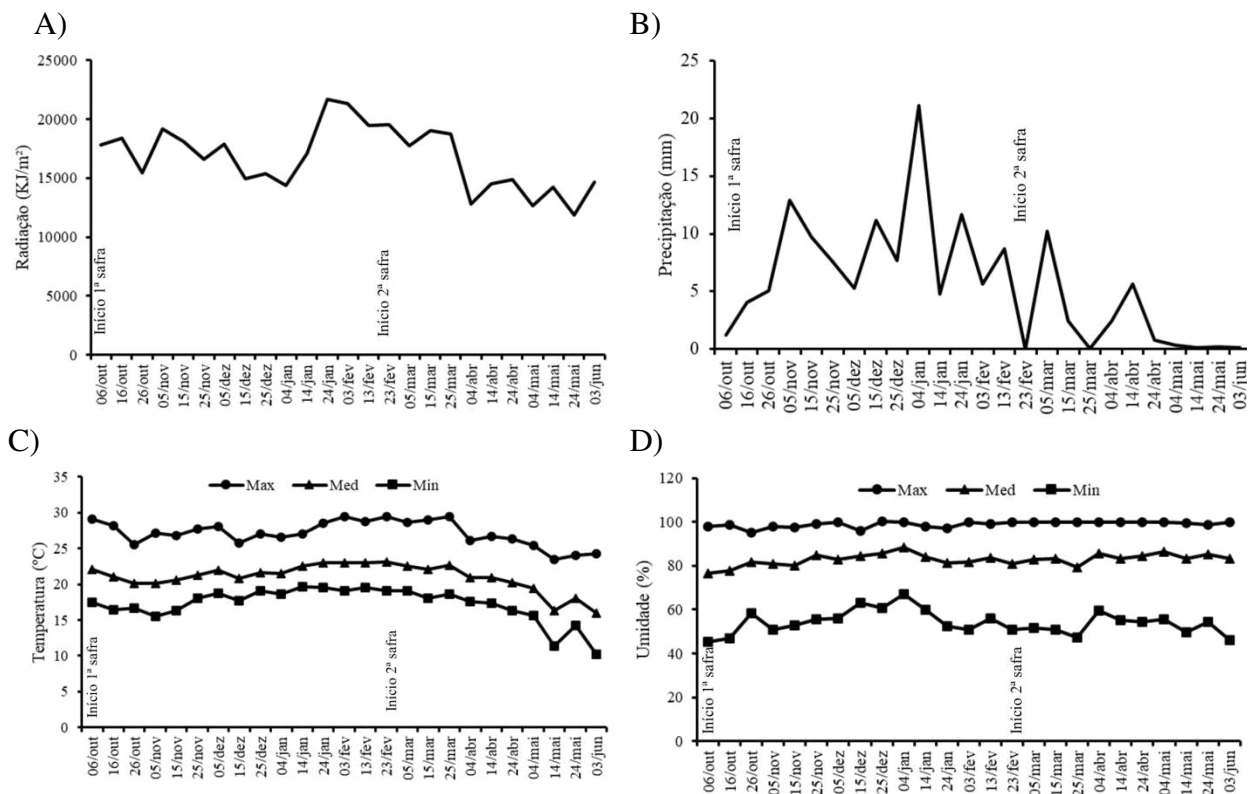


Figura 2: Radiação (KJ/m^2) (A), Precipitação (mm) (B), Temperatura máxima, média e mínima ($^{\circ}\text{C}$) (C) e Umidade máxima, média e mínima (%) (D) registradas, por decêndio, durante o período de condução dos ciclos de avaliação, de outubro de 2022 a maio de 2023 em Viçosa – MG. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Ao final dos 7 dias de cada aplicação dos tratamentos, foram realizadas as medições de altura, diâmetro do colmo, índice de clorofila “a”, “b” e “total”, área foliar, massa fresca e seca da parte vegetativa, massa fresca e seca da parte reprodutiva quando no estágio reprodutivo, e massa fresca e seca total da planta. Em ambas as safras foram coletadas amostras para análise de carboidratos nas folhas nos estádios V8 e VT. A análise de fotossíntese foi realizada nos estádios V8 e VT/R1 apenas na 2ª safra.

Os teores de clorofila “a”, “b” e “total” da folha, foram mensurados usando o aparelho digital ClorofiLOG modelo CFL 1030 e expressos em índice de clorofila Falker (ICF) (Falker, 2008).

Para obtenção do índice de área foliar, matéria fresca e matéria seca das plantas, uma planta da fileira central e de frente ao suporte das luzes de LED de cada parcela foi cortada na superfície do solo. A área foliar foi obtida através do medidor de área LI-3100 da empresa LICOR. Quando em estágio reprodutivo, as plantas foram separadas em parte vegetativa (folhas e colmo) e parte reprodutiva (pendão e espigas), e a soma dessas é equivalente a massa total das plantas. Todas as amostras foram secas em estufa a 65°C por 72 h até atingirem peso constante, e em seguida pesadas para obtenção do peso seco, que seguiu a mesma orientação da massa fresca para obtenção dos dados.

Para as análises de carboidratos foram retiradas 2 g do terço médio das folhas coletadas e nessas amostras adicionado etanol 80 % fervente. A extração do amido, açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR) e açúcares não-redutores (ANR) seguiu a metodologia proposta por McCready et al. (1950).

A quantificação dos açúcares solúveis totais (AST) foi realizada baseando-se na metodologia do fenol-sulfúrico de Dubois et al. (1956), utilizando como solução padrão de sacarose a 0,02%, sendo a leitura realizada em espectrofotômetro a $\lambda = 490 \text{ nm}$ e os resultados expresso em % AST na matéria fresca.

Para a quantificação dos açúcares redutores (AR), foi utilizada a metodologia do ácido dinitrossalicílico (DNS) descrita por Gonçalves et al. (2010). A frutose 0,2% foi utilizada como solução padrão e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 540 nm e expressos em %. O teor de açúcares não-redutores (ANR), expressos em % foram calculados por diferença entre a concentração de AST e dos AR.

Os resíduos da extração dos açúcares foram secos em estufas de circulação forçada de ar a 65 °C e utilizados para quantificação do teor de amido pelo método fenol-sulfúrico de Dubois et al. (1956). Para digestão das amostras, foi utilizada metodologia adaptada de McCready et al. (1950), com utilização de HCl 4%.

A análise de fotossíntese foi realizada na 2ª safra, nos decênios 25/março e 04/maio, quando as plantas se encontravam nos estádios V8 e VT/R1. Essa avaliação foi feita com o analisador de gás infravermelho portátil (IRGA, LI 6400XT, LI-COR), em dia ensolarado no período de 10:00 às 12:00, sendo a leitura realizada na última folha completamente desenvolvida, de plantas dispostas no centro da parcela. As características fotossintéticas registradas foram: taxa fotossintética [$A, \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]; taxa transpiratória [$E, \text{mmol} (\text{H}_2\text{O}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$] e condutância estomática [$g_s, \text{mol} (\text{H}_2\text{O}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]. Os parâmetros de fotossíntese foram obtidos sob luz constante de $1000 \mu\text{mol} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na câmara,

bem como, $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ de ar, como referência para a concentração de CO_2 e temperatura de 25°C .

Ao atingir o ponto de milho-verde (R3), foi avaliada a altura de inserção da primeira espiga e número de entrenós de cinco plantas. Em seguida realizou-se a colheita e contagem de todas as espigas da área útil (três m^2), para determinação do número de espigas ha^{-1} . Após a colheita, foram avaliados o peso das espigas sem palha ha^{-1} , o diâmetro e comprimento das mesmas.

Os dados experimentais foram analisados por meio da análise de variância através do Sistema de Análises Estatísticas SAEG 9.1. Para comparar a média do tratamento adicional com três horas de luz com as demais médias dos tratamentos com suplementação de luz utilizou-se o teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A suplementação de luz por três horas não influenciou na altura da planta, nas massas frescas e secas da parte vegetativa e nem na massa fresca e seca total em nenhuma das safras.

No entanto, na 1ª safra, houve redução da massa fresca e seca da parte reprodutiva e aumento da altura de inserção da espiga, quando comparado ao tratamento sem aplicação de luz (Tabela 1).

Enquanto, na 2ª safra, a suplementação de luz por três horas reduziu o diâmetro do colmo em V4 e aumentou a área foliar em VT, quando comparado com os pulsos de luz (Tabela 1). Verificou-se que os pulsos, com exceção dos 80s promoveram maior diâmetro do colmo, no estágio V4 e maior área foliar foi observada com a suplementação por três horas de luz e 160 s de pulse na 2ª safra no estágio VT, indicando a sensibilidade dessas variáveis a presença de luz na forma de pulsos (Tabela 1). Ainda na 2ª safra, não foi observado efeito da suplementação de luz por três horas para a massa fresca e seca da parte reprodutiva, bem como para a altura de inserção da espiga.

O aumento na altura de inserção da espiga, redução do diâmetro do colmo e aumento da área foliar são respostas morfológicas vegetais a baixa intensidade de luz. O que indica que as plantas suplementadas com três horas de luz alteraram sua morfologia para aumentar a captação de energia luminosa. Uma vez que, a intensidade de luz fornecida pelas lâmpadas LEDs que chegava as plantas variou de 18 a $396 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ao longo do ciclo de cultivo, sendo essa taxa muito baixa, considerando que a taxa máxima de fluência de fótons que

atingem a superfície da Terra é de 2000 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ em um dia ensolarado (Taiz e Zeiger, 2017).

Resultados semelhantes aos encontrados no presente estudo, foram relatados em trabalho avaliando a suplementação luminosa aplicada de forma ininterrupta (a noite toda) e por quatro horas após o pôr do sol na cultura do milho, onde foi observado na 1ª safra, que os tratamentos com luz suplementar não proporcionaram diferenças para altura, diâmetro do colmo, área foliar e massa fresca e seca da parte vegetativa no estágio V8. No entanto, no estágio reprodutivo R1, a altura da planta foi influenciada de forma positiva, enquanto a massa fresca e massa seca da parte reprodutiva sofreram redução em seus valores pela aplicação da luz suplementar a noite toda e por quatro horas (Carvalho, 2023).

Em estudo realizado por Carvalho (2023), na 1ª safra de condução da cultura do milho, a suplementação luminosa fornecida durante toda a noite com lâmpadas LED (75% vermelha/ 25% azul) aumentou a altura e comprimento de entrenós das plantas, e reduziu a massa fresca e seca da parte reprodutiva (pendão e espiga), devido a não emissão de espigas suficiente a ponto de ser considerado como pleno florescimento, evidenciando um aumento da fase vegetativa. Enquanto, na 2ª safra, observou que o tratamento com quatro horas suplementar por noite reduziu a altura e a matéria seca das plantas, e promoveu atraso no florescimento.

As respostas morfológicas distintas observadas na 1ª e 2ª safra podem estar relacionadas com as condições climáticas. A radiação solar, temperatura e precipitação pluviométrica encontrados na 2ª safra, obtiveram índices de 11,2%, 2º C, e 6,5 mm mais baixos que os apresentados na 1ª safra. Estando também relacionado com o uso de híbridos distintos, na 1ª e 2ª safra, uma vez, que a resposta as condições ambientais atuam de diversas maneiras na morfologia dos diferentes cultivares de milho (Monzambani e Bicudo, 2009).

Tabela 1. 1ª safra - massa fresca da parte reprodutiva (MFPR- R1), massa seca da parte reprodutiva (MSPR – R1) e altura de inserção da espiga (AIE – R1). 2ª safra - diâmetro do colmo (DC - V4), área foliar (AF - VT) em função da suplementação artificial de luz.

Acréscimo de luz	MFPR 1ª safra	MSPR 1ª safra	AIE 1ª safra	DC (mm) 2ª safra	AF (cm²) 2ª safra
Sem luz	0,231a	0,092a	1,73b	10,515 a	5572,50 b
20s	0,259a	0,1a	1,63b	10,992 a	6232,55 b
40s	0,155b	0,053b	1,74b	10,782 a	5471,14 b
80s	0,161b	0,061b	1,74b	9,497 b	6462,09 b
160s	0,136b	0,048b	1,75b	10,790 a	7295,15 a
3h	0,069b	0,02b	2,2a	8,527 b	7335,02 a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett do tratamento com três horas de suplementação luminosa.

Comparando a suplementação de luz por três horas com os tratamentos com pulsos, verificou-se que 40s, 80s e 160s tiveram o mesmo efeito na massa fresca e seca da parte reprodutiva. Assim como 80s no diâmetro do caule, 160s na área foliar, 20s, 80s e 160s no teor de clorofila “a” e “total” (Tabela 1). Alguns segundos de luz são suficientes para indução de repostas morfológicas na cultura do milho, no entanto, os resultados mostram que o tempo de exposição a luz, pulso por segundos ou exposição por três horas levam a modificações distintas.

A intensidade e qualidade de luz promove modificações bioquímicas, como a mudança na concentração de clorofila (Taiz e Zaiger, 2017), esperava-se que as mudanças na proporção de luz vermelha e azul fornecidas pelas lâmpadas, e o maior tempo de exposição pudessem levar ao aumento no teor de clorofila em relação aos demais tratamentos com suplementação luminosa. No entanto, esse resultado foi observado apenas em relação ao tratamento com 40s para clor a V10 e clor T VT na 2ª safra, e para clor T VT em relação aos 0s, 40s, 80s e 160s também na 2ª safra (Tabela 2).

Em pesquisa avaliando plantas de tomates cultivadas sob luz natural e tratamento suplementar com LED (70% vermelho e 23% azul), foram encontrados resultados positivos para essa variável, no qual se observou maior conteúdo de clorofila foliar estimado (+15,5%) em plantas cultivadas com luz LED (Paucek et al. 2020). Indicando que a resposta a essa variável é dependente da cultura, sendo que outras proporções de luz vermelha e azul, podem induzir mudança no milho.

Tabela 2. 1ª safra - Clorofila “b” (Clor b – V4) 2ª safra - Clorofila “a” (Clor a – V10), Clorofila Total (Clor T – V10) Clorofila Total (Clor T – VT) em função da suplementação artificial de luz.

Acréscimo de luz	Clor b V4 1ª safra	Clor a V10 2ª safra	Clor T V10 2ª safra	Clor T VT 2ª safra
Sem luz	9,72 a	43,42 a	57,41 a	56,16 b
20s	12,62 a	44,50 a	59,45 a	63,53 a
40s	12,22 a	41,65 b	54,45 b	52,23 b
80s	12,07 a	43,50 a	57,77 a	57,23 b
160s	13,48 a	43,83 a	58,21 a	60,32 b
3h	11,75 a	44,80 a	60,58 a	64,81 a

As médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett do tratamento com três horas de suplementação luminosa.

No estádio V8 os teores de AST, AR e amido da 1ª safra foram influenciados pelos tratamentos testados. No entanto, não foi observada diferença entre os tratamentos para o teor de ANR.

Para os teores de AST, os pulsos de 20s, 80s e 160s levaram a aumento de 25,4%, 19,6% e 20,3% no teor de AST das folhas quando comparado com o tratamento com três horas de suplementação luminosa (Tabela 3).

Os teores de AR, aos 20 e 160 segundos, quando comparados ao tratamento com três horas (Tabela 3), também apresentaram acréscimos, sendo estes de 26,8% e 27%, respectivamente.

Apesar da variável Amido V8 ter apresentado diferença significativa entre os tratamentos pela ANOVA, não foi identificada diferença entre os tratamentos de pulsos luminosos em relação ao tratamento adicional com três horas pelo teste Dunnett, podendo essa diferença está entre outros tratamentos testados.

Tabela 3. Porcentagem de açúcares solúveis totais (AST V8 1ª safra), açúcares redutores (AR V8 1ª safra), açúcares redutores (AR VT 2ª safra), amido (Amido V8 1ª safra) e amido (Amido VT 1ª safra) em função da suplementação artificial de luz.

Acréscimo de luz	% AST V8 1ª safra	% AR V8 1ª safra	% AR VT 2ª safra	% Amido V8 1ª safra	% Amido VT 1ª safra
0	0,4784 b	0,4151 b	0,2694 b	12,33 a	15,46 a
20s	0,5362 a	0,4735 a	0,3948 a	15,13 a	11,97 b
40s	0,4505 b	0,4014 b	0,3620 b	11,49 a	16,58 a
80s	0,5111 a	0,4294 b	0,3343 b	9,85 a	17,94 a
160s	0,5143 a	0,4750 a	0,3341 b	12,51 a	13,37 b
3h	0,4274 b	0,3740 b	0,3003 b	12,44 a	19,65 a

As médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett do tratamento com três horas de suplementação luminosa.

No estádio VT da 1ª safra apenas o Amido apresentou diferença entre os tratamentos em relação ao tratamento com três horas de luz suplementar, sendo esta diferença entre os tratamentos de 20 e 160 segundos, que apresentaram redução respectiva de 39,08% e 31,95% no teor desse carboidrato.

Na 2ª safra, para as avaliações do metabolismo de carboidratos nos estádios V8 e VT apenas o teor de AR VT obteve diferença entre os tratamentos em comparação ao tratamento de suplementação adicional de três horas de luz, apresentando aumento de 31,46% no tratamento com 20s de suplementação luminosa (Tabela 3).

Apesar das variações nos teores de AST, AR e amido no estádio V8 e AR e amido no estádio VT encontrados neste estudo, os resultados sinalizam que nem o maior tempo de suplementação luminosa e nem os pulsos de luz, são capazes de gerar um grande acúmulo de carboidratos nas folhas, podendo esse comportamento estar relacionado a baixa fluência de fótons que eram fornecidos pela luz LED, uma vez que nas mensurações de taxa de fluência de fótons das luzes LEDs, obtidas durante as safras, foi verificada que a maior fluência era de

396,75 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, correspondendo a 0,76% da taxa de fluência existente na sobre a superfície terrestre pode atingir aproximadamente a 2000 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ em um dia de pleno sol.

Outro resultado que explica melhor os teores de carboidratos acumulados, são os resultados obtidos nas avaliações de fotossíntese onde não foram observadas diferenças entre os tratamentos com pulse luminoso e o tratamento adicional de três horas de luz, para as variáveis: taxa fotossintética, transpiratória e condutância estomática avaliadas em V8 e VT/R1 na 2ª safra.

Resultados contrários aos desta pesquisa, foram encontrados por Li et al. (2021), onde testando o efeito da suplementação luminosa sobre o acúmulo de carboidratos em folhas de tomateiro, observaram aumento do conteúdo de amido, açúcares solúveis totais, redutores e não-redutores, e atribuíram esse resultado, a maior eficiência fotossintética das plantas, que ao serem expostas a luz (vermelha + azul), melhoraram a taxa de assimilação de CO_2 , resultando em maiores concentrações e armazenamento de carboidratos, tendo o amido um aumento de 39,1% em relação a luz branca.

Na 1ª safra, a suplementação luminosa por três horas promoveu redução de 8,67% no diâmetro de espiga (Tabela 4), que apesar de mais finas atenderam ao padrão comercial de milho-verde. Não sendo observada diferenças entre os pulses de luz e o tratamento adicional de três horas para o nº e comprimento de entrenós, e nem para o peso e nº de espigas ha^{-1} , e comprimento de espigas. Já na 2ª safra, não foi observado efeito dos tratamentos, para as variáveis nº e comprimento de entrenós, diâmetro e comprimento de espiga, peso e número de espiga sem palha ha^{-1} .

Tabela 4. Diâmetro de espiga de milho verde 1ª safra em função da suplementação artificial de luz.

Acréscimo de luz	Diâmetro de espiga (cm)
0	49,42 a
20s	47,46 a
40s	48,99 a
80s	47,20 a
160s	47,39 a
3h	45,14 b

As médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett do tratamento com três horas de suplementação luminosa.

O processo de desenvolvimento da espiga, formação de grãos e peso de espiga é bastante afetado pela disponibilidade de radiação solar (Hashemi & Hebert, 1992), visto que esta influencia diretamente os processos fotossintéticos, especialmente em plantas de metabolismo C4 (Borges, 2017).

Nesse sentido, esperava-se que o incremento luminoso melhorasse a capacidade fotossintética da planta, permitindo maior acúmulo de carboidratos, e por sua vez maior translocação dos carboidratos presentes nas folhas e colmo para espiga e grãos (Magalhães et al., 2006). No entanto, a suplementação por três horas não foi suficiente para aumentar os componentes de produção de maneira significativa.

Em trabalho de milho consorciado com eucalipto Macedo et al. (2006) observaram que o peso e rendimento de grãos de milho foram maiores no tratamento com maior disponibilidade luminosa, e que a produção de milho reduzia com a proximidade das linhas de milho com as linhas de eucalipto, em função da redução na radiação solar. Indicando a importância na luminosidade nos fatores de produção, que no presente estudo não apresentou incrementos com a suplementação por três horas.

Resultados semelhantes ao nosso estudo foram encontrados por Carvalho (2023), onde o uso da luz suplementar com 0, 20, 40, 80 e 160 segundos, além dos tratamentos adicionais de 24h e quatro horas de luz na cultura do milho, de 1^a e 2^a safra, não aumentaram a produção da cultura, apresentando efeito negativo com o maior tempo de exposição à luz, devido ao atraso no desenvolvimento e florescimento, com consequente redução na formação de grãos.

4. CONCLUSÃO

A suplementação luminosa com três horas promove aumento da área foliar e altura de inserção da espiga. Porém, causa redução da massa fresca e seca da parte reprodutiva, bem como no diâmetro do colmo e da espiga de milho.

A resposta morfológica da planta a suplementação de luz por três horas e em pulsos depende do estágio de desenvolvimento da planta de milho.

A suplementação luminosa com LEDs por três horas e em pulsos não afeta a fotossíntese e não proporciona aumento produtivo para a cultura do milho.

5. REFERÊNCIAS

Ahmed, H. A.; Yu-Xin, Tong; Qi-Chang, Yang. Optimal control of environmental conditions affecting lettuce plant growth in a controlled environment with artificial lighting: A review. **South African Journal of Botany**, v. 130, p. 75-89, 2020.

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**, 153, 63–71, 2018.

Borges, W. L. B. et al. Corn production intercropping with *Urochloa brizantha* in different production systems. **Agricultural Research Updates**, v. 16, p. 59-82, 2017.

Carvalho, P.A. **Suplementação artificial de luz na cultura do milho**. 121 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2023

Dubois, M.; Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, p. 350-356. 1956.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p

Falker automação agrícola LTDA. 2008. Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030). Porto Alegre: 33p.

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, p. 86-93, 2021.

Gonçalves, C., Rodriguez-Jasso, R. M., Gomes, N., Teixeira, J. A., & Belo, I. Adaptation of dinitrosalicylic acid method to microtiter plates. **Analytical Methods**, v. 2, p. 2046-2048, 2010.

Hasan, M. M., Bashir, T., Ghosh, R., Lee, S. K., & Bae, H. An overview of LEDs' effects on the production of bioactive compounds and crop quality. **Molecules**, v. 22, n. 9, p. 1420, 2017.

Hashemi, D.A.; Herbert, S.J. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.4, p.547-551, 1992.

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

Li, Y., Liu, Z., Shi, Q., Yang, F., & Wei, M. Mixed red and blue light promotes tomato seedlings growth by influencing leaf anatomy, photosynthesis, CO₂ assimilation and endogenous hormones. **Scientia Horticulturae**, v. 290, p. 110500, 2021.

Ma, Y.; Xu, A.; Cheng, Z.-M. M. Effects of light emitting diode lights on plant growth, development and traits a meta-analysis. **Horticultural Plant Journal**, v. 7, n. 6, p. 552-564, 2021.

Magalhães, P. C.; Durães, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. 2006.

Macedo, R. L. G., Bezerra, R. G., Venturin, N., Vale, R. S. D., Oliveira, T. K. D. Desempenho silvicultural de clones de eucalipto e características agronômicas de milho cultivados em sistema silviagrícola. **Revista Árvore**, v. 30, p. 701-709, 2006.

McCready, R. M.; Guggolz, J., Silviera, V.; & Owens, H. S. Determination of starch and amylose in vegetables. **J. Analytical Chemistry**, v. 22, p. 1156-1158, 1950.

Mitchell, C. A; Both, A. J; Bourget, C. M; Burr, J. F; Kubota, C; Lopez, R.G; Morrow, R. C; Runle, E.S. 2012. LEDs: The future of greenhouse lighting! **Chronica Horticulturae** 52: 6-12.

Mozambani, A. E.; BICUDO, S. J.. Efeito da temperatura e da luz no desenvolvimento de plântulas de milho. **Nucleus**, v. 6, n. 1, p. 1-12, 2009.

Paucek, I. et al. Supplementary LED interlighting improves yield and precocity of greenhouse tomatoes in the Mediterranean. **Agronomy**, v. 10, n. 7, p. 1002, 2020.

Paucek, I. et al. Supplementary LED interlighting improves yield and precocity of greenhouse tomatoes in the Mediterranean. **Agronomy**, v. 10, n. 7, p. 1002, 2020.

SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

Simlat, M., Ślęzak, P., Moś, M., Warchoń, M., Skrzypek, E., Ptak, A. The effect of light quality on seed germination, seedling growth and selected biochemical properties of *Stevia rebaudiana* Bertoni. **Scientia Horticulturae**, v. 211 p. 295–304, 2016.

Taiz, L.; Zeiger, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 918p.

Xu, W., Liu, X., Jiao, X., Xu, Z. Effect of blue light quantity on growth and quality of lettuce. **Journal of Nanjing Agricultural University**, v. 38, n. 6, p. 890-895, 2015.

Yang, L. Y. et al. Effects of light quality on growth and development, photosynthetic characteristics and content of carbohydrates in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) plants. **Photosynthetica**, v. 55, p. 467-477, 2017.

Zhang, X., Bian, Z., Yuan, X., Chen, X., & Lu, C. A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microgreens. **Trends in food science & technology**, v. 99, p. 203-216, 2020.

CAPÍTULO II. PRODUÇÃO DE MILHO-VERDE: UMA SIMULAÇÃO DA SUPLEMENTAÇÃO DE LUZ POR PIVÔ CENTRAL

RESUMO: A suplementação luminosa com LEDs em campo é uma tecnologia inovadora, com potencial de alavancar a produtividade de culturas, economicamente importante, como o milho. Objetivou-se nesta pesquisa avaliar a influência da suplementação luminosa, fornecida em diferentes estádios fenológicos do milho, sobre as características de crescimento, metabolismo de carboidratos das folhas, parâmetros fotossintéticos e produção de plantas de milho cultivados na 1ª e 2ª safra. Para isso, foram avaliados cinco tempos de suplementação luminosa (0, 20, 40, 80 e 160 segundos), que correspondiam aos tempos/m² do percurso das torres de pivô central de irrigação. Os tratamentos foram aplicados em intervalos de sete dias durante os estádios vegetativos, iniciando quando 50% da área estava no estágio V4. Na 1ª safra as avaliações de crescimento realizaram-se nos estádios V4, V8, V10 e VT e na 2ª safra as avaliações de crescimento foram realizadas nos estádios V4, V8, V10, V12 e VT. Após atingir o pendoamento (VT), foi realizada aplicação diária até a colheita no ponto de milho-verde (R3), onde se realizou as avaliações de produtividade. Foram analisadas: altura da planta, diâmetro do colmo, área foliar, índice de clorofila a, b e total, massa fresca e seca da parte vegetativa, reprodutiva e total, número de entrenós, altura de inserção da espiga, açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR) e amido da folha; taxa fotossintética e transpiratória; comprimento e diâmetro de espiga, número e peso de espiga de espigas sem palha ha⁻¹. Os pulsos luminosos (20s, 40s, 80s e 160s), aplicados no milho promovem modificações na concentração de clorofila “b”, número de entrenós, comprimento de espiga, massa seca da parte reprodutiva e nos teores de açúcares solúveis totais, açúcares redutores e amido das plantas de milho. O aumento progressivo nos pulsos luminosos é capaz de estimular o ganho de massa seca da parte reprodutiva e de aumentar o número de entrenós da planta de milho. Embora o milho seja responsivo ao incremento luminoso, a pulsação de luz por alguns segundos durante a noite foi insuficiente para aumentar para gerar alterações morfológicas e fisiológicas que promovessem o aumento produtivo para a cultura do milho. O fornecimento de luz suplementar via pivô central de irrigação na cultura do milho, ainda necessita de mais estudos para validar a eficiência dessa tecnologia para obter ganhos de produtividade desse cereal.

Palavras-chave: Luz suplementar; LED; número de espigas; fotossíntese.

ABSTRACT: Light supplementation with LEDs in the field is an innovative technology, with the potential to boost the productivity of economically important crops, such as corn. The aim of this research was to evaluate the influence of light supplementation, provided at different phenological stages of corn, on growth characteristics, leaf carbohydrate metabolism, photosynthetic parameters and production of corn plants grown in the 1st and 2nd harvest. For this purpose, five times of light supplementation were evaluated (0, 20, 40, 80 and 160 seconds), which corresponded to the times/m² of the path of the central pivot irrigation towers. The treatments were applied at seven-day intervals during the vegetative stages, starting when 50% of the area was at the V4 stage. In the 1st harvest, growth evaluations were carried out at the V4, V8, V10 and VT stages and in the 2nd harvest, growth evaluations were carried out at the V4, V8, V10, V12 and VT stages. After reaching tasseling (VT), daily application was carried out until harvest at the sweetcorn point (R3), where productivity assessments were performed. The following were analyzed: plant height, stalk diameter, leaf area, chlorophyll a, b and total index, fresh and dry mass of the vegetative, reproductive and total parts, number of internodes, ear insertion height, total soluble sugars (AST), reducing sugars (AR), non-reducing sugars (ANR) and leaf starch; photosynthetic and transpiration rate; ear length and diameter, number and weight of ears without straw ha⁻¹. Light pulses (20s, 40s, 80s and 160s) applied to corn promote changes in the concentration of chlorophyll “b”, number of internodes, ear length, dry mass of the reproductive part and in the contents of total soluble sugars, reducing sugars and starch of corn plants. The progressive increase in light pulses is capable of stimulating the gain of dry mass of the reproductive part and increasing the number of internodes of the corn plant. Although corn is responsive to increased light, light pulses for a few seconds during the night were insufficient to generate morphological and physiological changes that would promote increased productivity for the corn crop. The provision of supplemental light via central pivot irrigation in corn crops still requires further studies to validate the efficiency of this technology to obtain productivity gains for this cereal.

Keywords: Supplemental lighting; LED; productive aspects; photosynthesis.

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia de iluminação artificial vem sendo utilizada para modificar as condições da luz ambiente, através de alterações na intensidade e qualidade do espectro de forma a regular o crescimento e desenvolvimento vegetal, promovendo acúmulo de matéria seca, alteração na concentração de clorofilas (Landi et al., 2019) e controle do florescimento.

No entanto, a maioria dos trabalhos com luz artificial ainda são realizados em cultivo protegido, onde o Diodo Emissor de Luz (LED) apresenta resultados positivos, principalmente na produção de hortícolas (Ahmed et al., 2020; Freitas et al., 2021).

O milho, é uma espécie que responde positivamente ao aumento da intensidade luminosa (Fancelli, 2017), e tem seu desenvolvimento e acúmulo de matéria seca totalmente dependente de luz (Romano, 2005). Portanto, uma cultura chave para estudos que evidenciem o efeito da suplementação luminosa via LED, a fim de futuramente esclarecer a forma de aplicação apropriada e a sua influência sobre suas características de crescimento.

No entanto, pesquisas mostram que o efeito da suplementação por LED é modificado em função da espécie (Xu et al., 2015), e a fase em que esta foi exposta ao espectro luminoso (Simlat et al., 2016), o que requer estudos em diferentes fases do seu desenvolvimento.

Em trabalho utilizando luz suplementar no cultivo de milho, aplicada em pulsos de luz e também de forma ininterrupta durante todo o ciclo de desenvolvimento, observou-se que o uso de suplementação luminosa propiciou respostas negativas a planta do milho. Não sendo observados aumentos de produtividade com aplicação de luz suplementar com LED (Carvalho, 2023).

Entretanto, uma vez que o milho tem o seu ciclo dividido em vários estádios fenológicos, e apresenta características específicas e importantes em determinados estádios, a avaliação da suplementação de forma escalonada, torna-se relevante afim de se identificar o momento em que a luz suplementar pode ter maior impacto nas características de crescimento da cultura.

Assim, diante da ausência de pesquisas na área, objetivou-se avaliar a influência da suplementação luminosa, fornecida em diferentes estádios fenológicos do milho, sobre as características de crescimento, características fotossintéticas, metabolismo de carboidratos nas folhas e características produtivas de milho-verde cultivados na 1^a e 2^a safra.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em dois ciclos de cultivo, sendo o primeiro na primeira safra e o segundo na segunda safra do ano agrícola 2022/2023 em área experimental da Unidade de Ensino e Pesquisa Diogo Alves de Melo da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - Minas Gerais, Brasil, latitude sul de 20 ° 45 ', longitude oeste de 42 ° 51 ', a altitude de 693 m. O clima da região é caracterizado como tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno (Köppen, 1948).

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, textura argilosa (EMBRAPA, 1997), com características químicas (camada de 0-20): pH em água 6.70; 29.10 mg dm⁻³ de P; 110 mg dm⁻³ de K; 3.61 cmolc dm⁻³ de Ca; 0.94 cmolc dm⁻³ Mg; 0.0 cmolc dm⁻³ de Al 3+ ; 2.31 cmolc dm⁻³ de H + Al; 4.83 cmolc dm⁻³ de soma de bases (SB); 4.83 cmolc dm⁻³ de CTC Efetiva; 7.14 cmolc dm⁻³ de CTC Potencial; 67.6% de saturação por bases (V); 0% de índice de saturação de alumínio (m); 2.42 dag Kg de matéria orgânica. As determinações foram efetuadas conforme a EMBRAPA (1997); pH em água (na proporção de 1:2,5 para solo: água), Ca, Mg e Al extrator (extrator KCL 1N), P e K (extrator Mehlich 1) e acidez extraível (H + Al) extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L.

Na 1ª safra o híbrido utilizado foi o DKB360 PRO3 e na 2ª safra o NS80 VIP3, ambos os híbridos de ciclo precoce e com tolerância ao complexo do enfezamento. As sementes primeiramente foram tratadas com CropStar® (imidacloprida/tiodicarbe) na proporção de 15 mL Kg⁻¹ de semente. A semeadura em ambas as safras foi realizada no sistema de plantio direto, sendo distribuídas 4 sementes m⁻¹ e adubação 400 kg/ha da fórmula NPK 8-28-16. Posteriormente realizou-se o desbaste manual das plântulas para uma densidade de 60000 plantas ha⁻¹ na 1ª safra e 50000 plantas ha⁻¹ na 2ª safra.

As adubações de cobertura foram aplicadas no estágio V4 (quatro folhas completamente desenvolvidas), utilizando uma dosagem de 108 kg N ha⁻¹ na forma de ureia.

Para o controle de plantas daninhas em ambas as safras, no estágio V3 (três folhas desenvolvidas) do milho foram realizadas aplicações de Roundup original® (sal di-amônio de glifosato) e Aclamado BR® (atrazina) na proporção de 4 L ha⁻¹ do produto comercial de cada herbicida. Na 1ª safra, ao atingir o estágio V6 (seis folhas desenvolvidas) do milho, para o controle de pragas, foi aplicado o inseticida Decis® (deltametrina) na dosagem de 200 mL ha⁻¹ do produto comercial. Para a 2ª safra o controle de pragas foi realizado com o uso dos produtos comerciais Connect® (imidacloprido/beta-ciflutrina), Polytrin®

(profenofós/cipermetrina) e Octane® (*Isaria fumosorosea*), nas respectivas dosagens de 750 mL ha⁻¹, 400 mL ha⁻¹ e 500 mL ha⁻¹ de cada produto.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas de 5 m de comprimento x 5 m de largura, perfazendo uma área de 25 m², contendo 10 fileiras espaçadas de 50 cm. A área útil foi composta por 18 plantas e correspondia a 2 m².

Os tratamentos foram compostos por cinco pulsos de luz com lâmpadas LEDs (0, 20; 40; 80; 160 segundos) fornecidos a partir das 21 horas. Esses tempos foram determinados em função dos diferentes tempos que as torres do pivô levam para cobrir uma área de 1 m², como descrito no trabalho de Carvalho (2023), sendo esse tempo maior na base (157.09 s/m²) e menor na ponta do pivô (13.72 s/m²) (Figura 1).

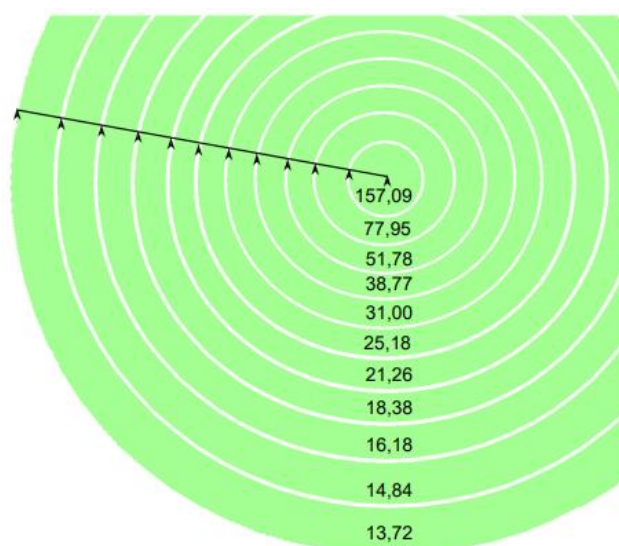


Figura 1 - Tempo, em segundos, que cada torre de um pivô de 100 hectares leva para percorrer 1 m².

Para aplicação dos tratamentos utilizou-se por parcela um módulo de diodo emissor de luz (LED), com tamanho de 25 x 7,1 cm, adquiridos da empresa Audax Electronics, que foram instalados em refletores juntamente com seus respectivos drivers, sendo fixados em postes de madeira situados no centro da parcela, numa altura de 3 metros, simulando a altura de fixação no pivô. O fluxo de fótons dos módulos era de 400 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, na proporção de luz 75% vermelha (~660nm) + 25% azul (~450nm) (V:A 75/25), e o consumo de 54 W.

Para avaliação da taxa de fluência de fótons incidente sobre as plantas realizou-se às 20 horas mensurações por meio do aparelho termo-radiômetro (LI-1400, LI-COR®, inc., Lincoln, Nebraska, USA), nas alturas de 0.90, 1.80 e 2.70 m de altura, obtendo-se uma média das leituras de de 18,45 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, 28,13 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, 396,75 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$,

respectivamente. Essas mensurações foram realizadas e correspondiam as alturas das plantas nos estádios V8, V12 e VT.

Os pulsos de luz (0, 20; 40; 80; 160 segundos) foram aplicados durante sete dias, seguindo um intervalo de sete dias entre as aplicações dos tratamentos, iniciando quando 50% da área estava no estádio V4 e indo até o pendoamento (VT). Na 1ª safra as avaliações foram realizadas nos estádios V4, V8, V10 e VT e na 2ª safra as avaliações foram realizadas nos estádios V4, V8, V10, V12 e VT. Após atingir o pendoamento, em ambas as safras, foi realizada aplicação diária até o estágio R3, uma vez que as plantas já atingiram a sua área foliar máxima.

Ao longo dos ciclos de cultivo, foram coletados a cada 10 dias os dados climáticos radiação acumulada (KJ/m^2), precipitação (mm), temperatura máxima, média e mínima ($^{\circ}\text{C}$) e umidade máxima, média e mínima (%), que estão apresentados na Figura 1. A 1ª safra teve início em 06/10/2022 finalizou no dia 04/01/2023. Já a 2ª safra iniciou no dia 23/02/2023 e finalizou no dia 01/06/2023.

A radiação solar durante a condução da 1ª safra variou entre 14.371,23 e 21.600,64 $\text{KJ}\cdot\text{m}^2\cdot\text{dia}^{-1}$, com uma média de 17.478,86 $\text{KJ}\cdot\text{m}^2\cdot\text{dia}^{-1}$. Na 2ª safra, a variação da radiação solar foi de 11.870,61 a 19.517,86 $\text{KJ}\cdot\text{m}^2\cdot\text{dia}^{-1}$, com uma média de 15.513,92 $\text{KJ}\cdot\text{m}^2\cdot\text{dia}^{-1}$ (Figura 2A).

Na 1ª safra, a média de precipitação foi de 8,51 $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ e na 2ª safra de 2,04 $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$, (Figura 2B). Para a fase inicial de cultivo e estabelecimento da cultura na 1ª safra foram realizadas duas irrigações suplementares. Já na 2ª safra foram realizadas 2 irrigações por semana até o estádio V8 (oito folhas desenvolvidas). Após esse estádio as irrigações foram suspensas para que a água da irrigação via aspersor não danificasse as folhas das plantas de milho. Em ambos os cultivos a lâmina d'água fornecida foi de 4 $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$.

A variação das temperaturas máximas, médias e mínimas do ar, por decêndio, em ambas as safras são apresentadas na Figura 2C. A faixa de temperatura média durante a 1ª safra variou de 20,0 a 22,9 $^{\circ}\text{C}$ e de 15,9 a 23,1 $^{\circ}\text{C}$ na 2ª safra.

A variação das umidades máximas, médias e mínimas do ar, apresentaram variação de 76,6 a 88,4% durante a condução da 1ª safra e de 79,4 a 86,3% na 2ª safra (Figura 2D).

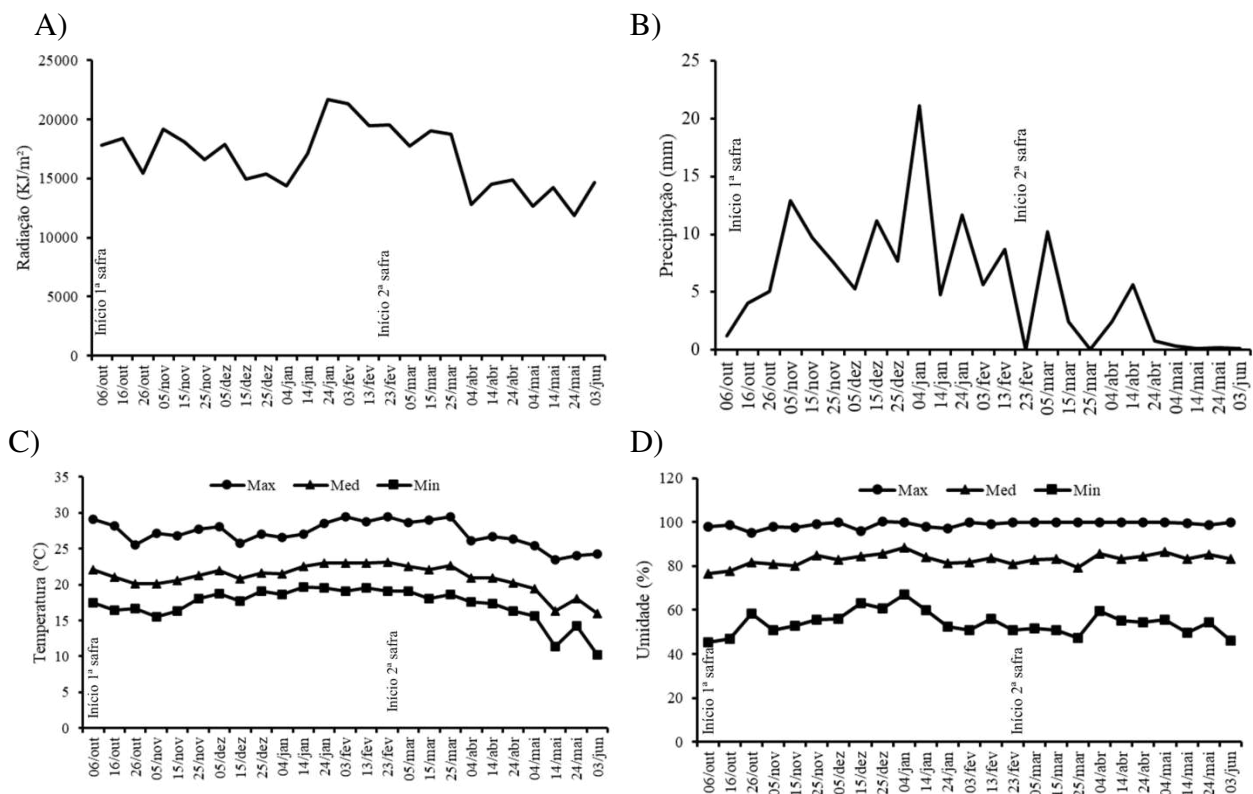


Figura 2: Radiação (KJ/m^2) (A), Precipitação (mm) (B), Temperatura máxima, média e mínima ($^{\circ}\text{C}$) (C) e Umidade máxima, média e mínima (%) (D) registradas, por decêndio, durante o período de condução dos ciclos de avaliação, de outubro de 2022 a maio de 2023 em Viçosa – MG. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Ao final dos 7 dias de cada aplicação dos tratamentos, foram realizadas as medições de altura, diâmetro do colmo, índice de clorofila “a”, “b” e “total”, área foliar, massa fresca e seca da parte vegetativa, massa fresca e seca da parte reprodutiva quando no estágio reprodutivo, e massa fresca e seca total da planta.

Os teores de clorofila “a”, “b” e “total” da folha, foram mensurados usando o aparelho digital ClorofiLOG modelo CFL 1030 e expressos em índice de clorofila Falker (ICF) (Falker, 2008).

Para obtenção do índice de área foliar, matéria fresca e matéria seca das plantas, uma planta da fileira central e de frente ao suporte das luzes de LED de cada parcela foi cortada na superfície do solo. Quando em estágio reprodutivo, as plantas foram separadas em parte vegetativa (folhas e colmo) e parte reprodutiva (pendão e espigas), e a soma dessas é equivalente a massa total das plantas. Todas as amostras foram secas em estufa a 65°C por 72

h até atingirem peso constante, e em seguidas pesadas para obtenção do peso seco, que seguiu a mesma orientação da massa fresca para obtenção dos dados.

Para as análises de carboidratos foram retiradas 2 g do terço médio das folhas coletadas e nessas amostras adicionado etanol 80 % fervente. A extração do amido, açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR) e açúcares não-redutores (ANR) seguiu a metodologia proposta por McCready et al. (1950).

A quantificação dos açúcares solúveis totais (AST) foi realizada baseando-se na metodologia do fenol-sulfúrico de Dubois et al. (1956), utilizando como solução padrão de sacarose a 0,02%, sendo a leitura realizada em espectrofotômetro a $\lambda = 490$ nm e os resultados expresso em % AST na matéria fresca.

Para a quantificação dos açúcares redutores (AR), foi utilizada a metodologia do ácido dinitrossalicílico (DNS) descrita por Gonçalves et al. (2010). A frutose 0,2% foi utilizada como solução padrão e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 540 nm e expressos em %. O teor de açúcares não-redutores (ANR), expressos em % foram calculados por diferença entre a concentração de AST e dos AR.

Os resíduos da extração dos açúcares foram secos em estufas de circulação forçada de ar a 65 °C e utilizados para quantificação do teor de amido pelo método fenol-sulfúrico de Dubois et al. (1956). Para digestão das amostras, foi utilizada metodologia adaptada de McCready et al. (1950), com utilização de HCl 4%.

A análise de fotossíntese foi realizada na 2ª safra, nos de decêndios 25/mar e 04/mai, quando as plantas se encontravam nos estádios V8 e VT/R1. Essa avaliação foi feita com o analisador de gás infravermelho portátil (IRGA, LI 6400XT, LI-COR), em dia ensolarado no período de 10:00 às 12:00, sendo a leitura realizada na última folha completamente desenvolvida, de plantas dispostas no centro da parcela. As características fotossintéticas registradas foram: taxa fotossintética [A, $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]; taxa transpiratória [E, $\text{mmol}(\text{H}_2\text{O}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$] e condutância estomática [gs, $\text{mol}(\text{H}_2\text{O}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]. Os parâmetros de fotossíntese foram obtidos sob luz constante de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na câmara, bem como, $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ de ar, como referência para a concentração de CO_2 e temperatura de 25°C.

Ao atingir o ponto de milho-verde (R3), foi avaliada a altura de inserção da primeira espiga e número de entrenós de cinco plantas. Em seguida realizou-se a colheita e contagem de todas as espigas da área útil (3m^2), para determinação do número de espigas ha^{-1} . Após a colheita, foram avaliados o peso das espigas sem palha ha^{-1} , o diâmetro e comprimento das mesmas.

Os dados experimentais foram analisados por meio da análise de variância e de regressão, através do Sistema de Análises Estatísticas SAEG 9.1. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste “t” e adotando-se o nível de até 10% de probabilidade, no coeficiente de determinação ($R^2 = \text{S.Q. Regressão} / \text{S.Q. tratamento}$) e no comportamento do fenômeno em estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que na 1ª safra os tratamentos testados promoveram modificações morfológicas nas variáveis clorofila “b” no estágio V4, número de entrenós, comprimento da espiga. No entanto, apenas o nº de entrenós se ajustou a equação linear, indicando que o aumento no tempo dos pulsos de luz a qual as plantas foram expostas eleva o nº de entrenós das plantas de milho (Figura 3C).

Durante análise dessa mesma variável em função do tempo de iluminação, Carvalho (2023) trabalhando com o híbrido DKB335PRO3, observou que ao final do 1º ciclo, o número de entrenós não foi afetado pelos tempos de suplementação luminosa, apresentando média 15,81 entrenós por planta.

A qualidade da luz regula o crescimento das plantas por meio de vários fotorreceptores, que estimulam os sistemas de transdução de sinais por vários mecanismos para alterar a ação hormonal e morfologia da planta (Xiao et al. 2022). No presente estudo 75% de luz vermelha e 25% de luz azul pode ter contribuído com as mudanças morfológicas nas variáveis clorofila “b” no estágio V4, número de entrenós, comprimento da espiga da 1ª safra.

Para as variáveis clorofila “b” V4 (Figura 3A) e comprimento da espiga (Figura 3D) que também apresentaram diferença significativa pelo teste F, não foi possível adequar a uma equação, mas também se observa uma tendência de aumento dos seus índices conforme é acrescido o tempo de exposição aos pulsos de luz.

A concentração de clorofila é uma modificação bioquímica em resposta a intensidade e qualidade de luz. Sendo a biossíntese da clorofila e a maturação do cloroplasto influenciado principalmente pela luz azul (Zhang et al. 2019).

Trabalhando os efeitos das diferentes qualidades de luz LED em plantas de tomate, verificaram que plantas que receberam luz vermelha e azul na proporção (68:32)

apresentaram a maior índice de clorofila e eficiência do fotossistema II, evidenciando o efeito desses espectros sobre o crescimento e fisiologia das plantas (Soltani et al. 2023).

Já para a 2ª safra, o uso do dispositivo LED apresentou efeito na morfologia apenas sobre a variável massa seca da parte reprodutiva (Figura 1B), onde também se observa um aumento nos índices dessa variável à medida que se aumenta o tempo dos pulsos luminosos aplicados.

Esse resultado sugere que poucos segundos de luz suplementar nos espectros vermelho e azul, são capazes de gerar modificações de modo a alterar positivamente o ganho de biomassa do milho. Em trabalho com mudas de tomate Li et al. (2021) descobriram que a luz vermelha e azul promovia aumento no acúmulo de biomassa e na assimilação de CO₂. Além disso, os mesmos autores, constataram que o acúmulo de biomassa nas mudas de tomate foi acompanhado por uma inibição na concentração de giberelina, bem como incremento na auxina (ácido indol-3-acético (IAA)) no caule e na raiz de mudas de tomate sob tratamento com luz vermelha e azul.

Entretanto, resultados diferentes dos encontrados no presente estudo foram relatados por Carvalho (2023) que avaliando a utilização da suplementação luminosa artificial na produção de milho na 1ª safra, observou que o incremento no tempo de exposição luminosa levava a um decréscimo de 0,85 g de massa seca da parte reprodutiva. No entanto, na 2ª safra não foi identificada diferença entre os tempos de exposição à luz suplementar na simulação do pivô (0s, 20s, 40s, 80s e 160s), apresentando média de 217,2 gramas de massa seca da parte reprodutiva. A mesma autora justifica o resultado pelo atraso no florescimento das plantas e afirma que a suplementação luminosa via pivô central se mostrou ineficiente para a cultura do milho.

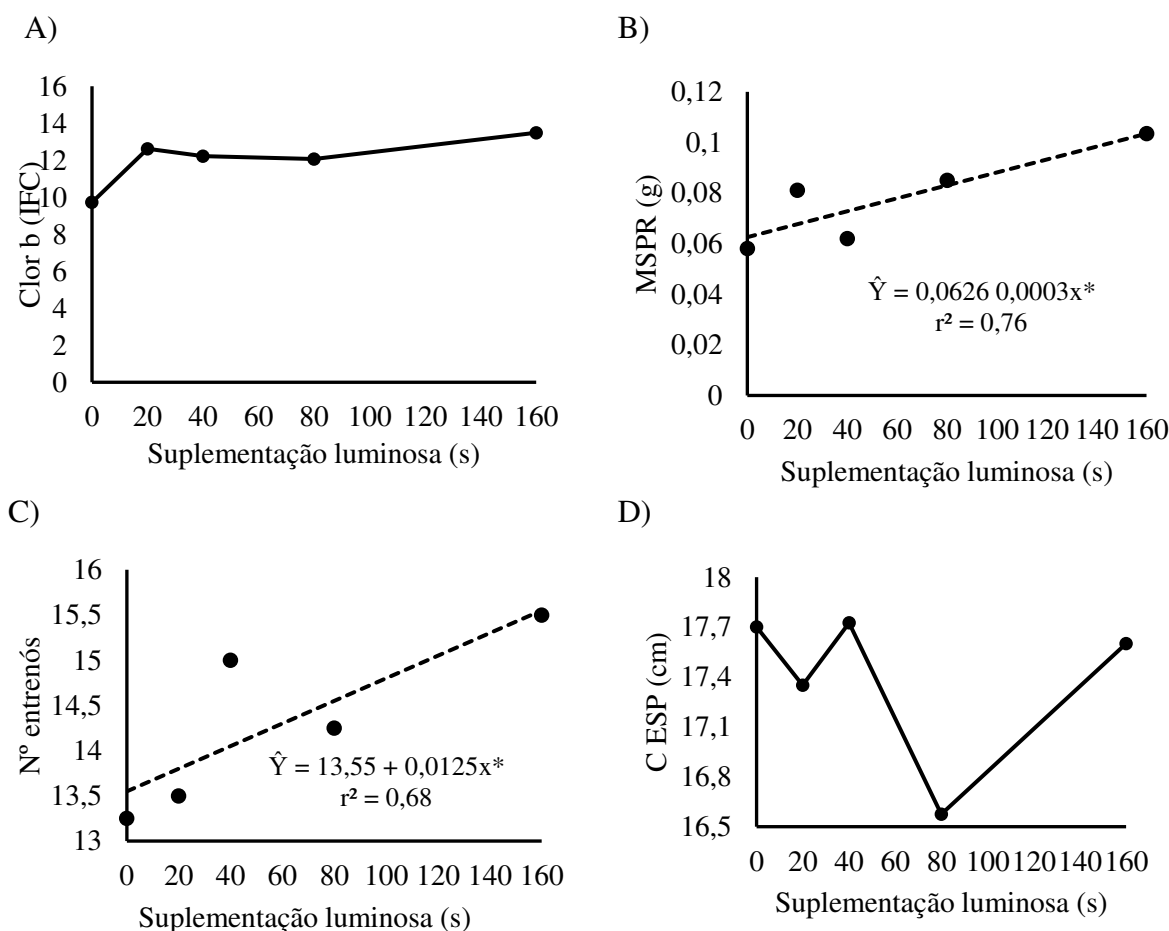


Figura 3. Clorofila “b” V4 (Clor b) 1ª safra (A), Massa Seca Parte Reprodutiva (MSPR) 2ª safra (B) Número de entrenós (Nº entrenós) 1ª safra (C) e Comprimento de espiga (C ESP) 1ª safra em função da suplementação artificial de luz.

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

Para 1ª safra observou-se no estágio V8, uma tendência de acréscimo linear para os teores de açúcares solúveis totais (AST) (Figura 4A) e um decréscimo linear para o amido (Figura 4B) acumulado nas folhas de milho. Entretanto, na 2ª safra, apenas os teores de açúcares redutores (AR) no estágio VT/R1 apresentaram diferença significativa, sendo também observada uma leve tendência de aumento para essa variável (Figura 4C). Esses resultados indicam que o pulso de luz modifica o metabolismo de carboidratos da planta, podendo este estar relacionado com o ciclo circadiano das plantas, que foi interrompido com o feixe de luz às 21h, nesses estádios de desenvolvimento.

O ciclo circadiano vegetal combina diversos processos fisiológicos internos, para coordenar atividades com mudanças diárias e sazonais no ambiente, o que promove impacto profundo em muitos aspectos do crescimento e desenvolvimento da planta. No milho, o relógio circadiano organiza a correção de genes que participam de processos fisiológicos

fundamentais, incluindo fotossíntese, metabolismo de carboidratos, biogênese da parede celular e vias de biossíntese de fitohormônios (Khan et al., 2010).

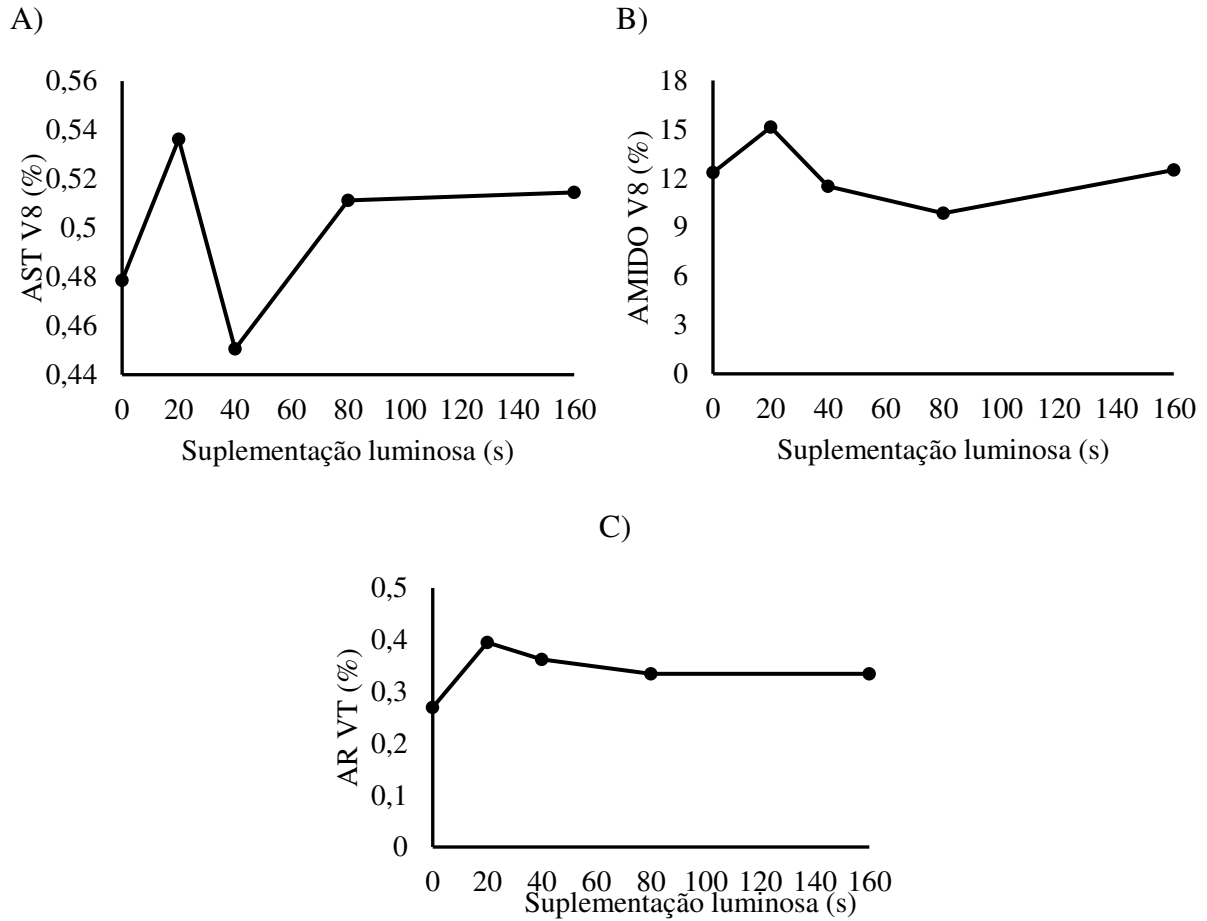


Figura 4. Açúcares solúveis totais (AST V8) 1ª safra (A), Amido V8 1ª safra (B) e Açúcares redutores (AR VT) 2ª safra (C) em função da suplementação artificial de luz.

4. CONCLUSÃO

Os pulsos luminosos (20s, 40s, 80s e 160s), aplicados no milho promovem modificações na concentração de clorofila “b”, número de entrenós, comprimento de espiga, massa seca da parte reprodutiva e nos teores de açúcares solúveis totais, açúcares redutores e amido das plantas de milho.

O aumento progressivo nos pulsos luminosos é capaz de estimular o ganho de massa seca da parte reprodutiva e de aumentar o número de entrenós da planta de milho.

Embora o milho seja responsivo ao incremento luminoso, a pulsação de luz por alguns segundos durante a noite foi insuficiente para aumentar para gerar alterações morfológicas e fisiológicas que promovessem o aumento produtivo para a cultura do milho.

O fornecimento de luz suplementar via pivô central de irrigação na cultura do milho, ainda necessita de mais estudos para validar a eficiência dessa tecnologia para obter ganhos de produtividade desse cereal.

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**, v. 130, p. 75-89, 2020.
- Carvalho, P.A. **Suplementação artificial de luz na cultura do milho**. 121 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2023
- Dubois, M.; Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, p. 350-356. 1956.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p
- Falker automação agrícola LTDA. 2008. Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030). Porto Alegre: 33p.
- 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, p. 86-93, 2021.
- Gonçalves, C., Rodriguez-Jasso, R. M., Gomes, N., Teixeira, J. A., & Belo, I. Adaptation of dinitrosalicylic acid method to microtiter plates. **Analytical Methods**, v. 2, p. 2046-2048, 2010.
- Khan, S.; Rowe, S. C.; Harmon, F. G. Coordenação do transcriptoma do milho por um relógio circadiano conservado. **BMC plant biology** , v. 10, p. 1-15, 2010.
- Köppen, W. Climatologia. Tradução: Pedro R. H. Perez. Buenos Aires, Panamericana, 1948. 478p.
- 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 (BBA) - Bioenergetics**, v. 1861 n. 2, p. 148131, 2020.
- Li, Y., Liu, Z., Shi, Q., Yang, F., & Wei, M. Mixed red and blue light promotes tomato seedlings growth by influencing leaf anatomy, photosynthesis, CO₂ assimilation and endogenous hormones. **Scientia Horticulturae**, v. 290, p. 110500, 2021.
- McCready, R. M.; Guggolz, J., Silveira, V.; & Owens, H. S. Determination of starch and amylose in vegetables. **J. Analytical Chemistry**, v. 22, p. 1156-1158, 1950.
- Romano, M. R. **Desempenho fisiológico da cultura de milho com plantas de arquitetura contrastante: parâmetros para modelos de crescimento**. Piracicaba, 2005. 100 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

Soltani, S. et al. Morphological, phytochemical, and photosynthetic performance of grafted tomato seedlings in response to different LED light qualities under protected cultivation. **horticulturae**, v. 9, n. 4, p. 471, 2023.

Simlat, M., Ślęzak, P., Moś, M., Warchoń, M., Skrzypek, E., Ptak, A., 2016. The effect of light quality on seed germination, seedling growth and selected biochemical properties of *Stevia rebaudiana* Bertoni. **Scientia Horticulturae**, 211: 295–304.

Xiao, L., Shibuya, T., Kato, K., Nishiyama, M., & Kanayama, Y. Efeitos da qualidade da luz no desenvolvimento da planta e no metabolismo do fruto e sua regulação por reguladores de crescimento vegetal em tomate. **Scientia Horticulturae**, v. 300, p. 111076, 2022.

Xu, W., Liu, X., Jiao, X., Xu, Z. Effect of blue light quantity on growth and quality of lettuce. **Journal of Nanjing Agricultural University**, v. 38, n. 6, p. 890-895, 2015.

Zhang, X., Bian, Z., Yuan, X., Chen, X., & Lu, C. A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microgreens. **Trends in food science & technology**, v. 99, p. 203-216, 2020.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando as projeções de crescimento populacional mundial, o uso de tecnologias voltadas para o aumento da produtividade das culturas torna-se uma ferramenta essencial no setor agrícola. Com a aplicação da suplementação artificial já é possível o incremento produtivo de hortícolas em ambientes fechados e também em lugares de baixa luminosidade, principalmente em plantas que possuem o ciclo de metabolismo fotossintético C3.

Por ser, o milho uma planta C4, e que responde positivamente ao aumento da intensidade luminosa, esperava-se que o prolongamento do tempo de luz incidente sobre as plantas, através do uso de LED's influenciasse positivamente em sua produção em ambas as safras.

No entanto, foi verificado que a resposta morfológica da planta de milho ao fornecimento de luz suplementar em simulação ao pivô central de irrigação é dependente do estágio de desenvolvimento da planta. No entanto, tais modificações observadas em função da luz suplementar nos tempos estudados não são suficientes para gerar aumento produtivo para o milho.

Dessa forma, ainda se faz necessário estudos a respeito da implementação de luz artificial suplementar fornecida via pivô central de irrigação na cultura do milho, para validação da eficiência dessa tecnologia afim de se obter ganhos produtivos.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Análise de variância do Capítulo I

Tabela 1. Resumo da análise de variância das variáveis altura (ALT), diâmetro do colmo (D COL), clorofila “a” (Clor a), clorofila “b” (Clor b), clorofila total (Clor total), área foliar (AF), massa fresca da parte vegetativa (MFPV), massa seca da parte vegetativa (MSPV), em função da suplementação artificial de luz nos estádios vegetativos (V4 e V8) da 1ª e 2ª safra.

QUADRADOS MÉDIOS									
V4 1ª SAFRA									
FV	GL	ALT (m)	D COL (mm)	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (Kg)	MSPV (Kg)
BLOCO	3	0,00029	2,57	2,265	2,25	4,52	7427,822	0,01315	0,00007527
TRAT	5	0,00010	1,36	4,13	6,315*	19,2	44832,77	0,03479	0,00003096
RESÍDUO	15	0,00034	2,96	3,775	1,626	9,3	54117,34	0,0165	0,00001194
CV (%)		11,12	9,76	4,65	10,64	5,67	27,57	17,5	16,92
V4 2ª SAFRA									
FV	GL	ALT (m)	D COL (mm)	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (Kg)	MSPV (Kg)
BLOCO	3	0,02615	1,1756	5,4948	26,9869	54,2256	11201,05	20,6111	0,2735
TRAT	5	0,00774	3,7631*	1,7025	5,5049	9,2954	9267,3	28,1666	0,4055
RESÍDUO	15	0,0077	0,959	1,2676	9,9458	15,8986	4984,8	17,6777	0,1892
CV (%)		7,85	9,61	2,45	21,11	6,54	29,05	33,41	30,22
V8 1ª SAFRA									
FV	GL	ALT (m)	D COL (mm)	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (Kg)	MSPV (Kg)
BLOCO	3	0,00057	22,433	155,03	13,01	256,28	2187794	0,01315	0,0002826
TRAT	5	0,00115	0,662	12,89	4,84	32,15	176587	0,03479	0,0003077
RESÍDUO	15	0,00462	2,293	9,47	5,45	26,84	254678,4	0,0165	0,0001295
CV (%)		8,56	4,37	6,72	15,62	8,53	15,24	17,5	20,72
V8 2ª SAFRA									
FV	GL	ALT (m)	D COL (mm)	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (Kg)	MSPV (Kg)
BLOCO	3	0,0336	5,45	25,85	3,76	67,48	2164413	0,0495	0,0013
TRAT	5	0,00928	2,33	13,2	7,1	25,37	275821,5	0,0165	0,00015
RESÍDUO	15	0,0078	10,44	13,29	2,79	33,77	702292,9	0,00773	0,00019
CV (%)		4,98	10,35	11,55	20,17	14,31	13,82	9,34	12

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 2. Resumo da análise de variância das variáveis altura (ALT), diâmetro do colmo (D COL), clorofila “a” (Clor a), clorofila “b” (Clor b), clorofila total (Clor total), área foliar (AF), massa fresca da parte vegetativa (MFPV), massa seca da parte vegetativa (MSPV), em função da suplementação artificial de luz nos estádios vegetativos (V10 e V12) da 1ª e 2ª safra.

QUADRADOS MÉDIOS									
V10 1ª SAFRA									
FV	GL	ALT (m)	D COL (mm)	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (Kg)	MSPV (Kg)
BLOCO	3	0,0336	5,45	25,85	3,76	67,48	2164413	0,0495	0,0013
TRAT	5	0,00928	2,33	13,2	7,1	25,37	275821,5	0,0165	0,00015
RESÍDUO	15	0,0078	10,44	13,29	2,79	33,77	702292,9	0,00773	0,00019
CV (%)		4,98	10,35	11,55	20,17	14,31	13,82	9,34	12
V10 2ª SAFRA									
FV	GL	ALT (m)	D COL (mm)	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (Kg)	MSPV (Kg)
BLOCO	3	2,9249	14,0543	6,2909	3,3445	16,1415	2458677	0,08745	0,00098
TRAT	5	0,3352	3,0492	4,9179*	4,2333	18,0669*	449539,3	0,003645	0,000022
RESÍDUO	15	0,8789	3,2278	1,4637	1,5387	4,3613	788308,3	0,0192	0,000115
CV (%)		13,98	6,65	2,77	8,61	3,59	20,48	25,18	19,86
V12 2ª SAFRA									
FV	GL	ALT (m)	D COL (mm)	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (Kg)	MSPV (Kg)
BLOCO	3	0,1235	5,0423	3,1387	22,6047	35,6989	783722,7	0,05348	0,000876
TRAT	5	0,0303	2,1218	3,7551	2,0839	8,8146	1808294	0,04257	0,000464
RESÍDUO	15	0,0218	2,4156	3,4412	4,9176	13,7969	810240,1	0,01864	0,000299
CV (%)		7,7	6,12	4,28	17,45	6,63	12,08	16,16	14,78

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 3. Resumo da análise de variância das variáveis altura (ALT), diâmetro do colmo (D COL), clorofila “a” (Clor a), clorofila “b” (Clor b), clorofila total (Clor total), área foliar (AF), massa fresca da parte vegetativa (MFPV), massa seca da parte vegetativa (MSPV), massa fresca da parte reprodutiva (MFPR), massa seca da parte vegetativa (MSPV), massa seca da parte reprodutiva (MSPR), massa fresca total no estádio reprodutivo (MFT), massa seca total no estádio reprodutivo (MST), em função da suplementação artificial de luz no estádio reprodutivo (VT/R1) da 1ª e 2ª safra.

QUADRADOS MÉDIOS													
VT 1ª SAFRA													
FV	GL	ALT (m)	D COL (mm)	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (Kg)	MSPV (Kg)	MFPR (Kg)	MSPR (Kg)	MFT (Kg)	MST (Kg)
BLOCO	3	0,05014	2,73	5,81	9,38	25,83	256239,1	0,0119	0,0002	0,009936	0,000907	0,02604	0,001409
TRAT	5	0,03066	5,38	15,69	5,51	25,51	785144,8	0,0600	0,0025	0,01862*	0,003545*	0,0053	0,001831
RESÍDUO	15	0,0151	3,83	32,03	9,42	66,71	437414,8	0,03691	0,0013	0,00502	0,0008631	0,02601	0,00544
CV (%)		3,86	7,3	15,43	43,78	18,69	9,03	13,74	25,66	42,03	46,69	14,41	27,04
VT 2ª SAFRA													
FV	GL	ALT (m)	D COL (mm)	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (Kg)	MSPV (Kg)	MFPR (Kg)	MSPR (Kg)	MFT (Kg)	MST (Kg)
BLOCO	3	0,0578	4,1232	19,9666	29,3144	12	719341,4	0,07297	0,0083	0,004489	0,00305	0,02891	0,00483
TRAT	5	0,0497	4,2923	36,9266	15,6567	91,048*	2603877*	0,02590	0,0867	0,03198	0,00215	0,1043	0,00726
RESÍDUO	15	0,0299	1,4907	14,5782	7,8813	21,8137	884364,7	0,03535	0,0338	0,01122	0,00132	0,06209	0,00446
CV (%)		6,15	5,1	9,13	16,3	7,91	14,7	22,56	24,76	34,04	51,18	21,61	29,04

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4. Resumo da análise de variância das variáveis altura de inserção da primeira espiga (ALT ESP), número de entrenós (Nº entrenós), comprimento de entrenós (C ent) número de espigas ha⁻¹ (Nº Esp ha⁻¹), peso de espiga (PESP), comprimento de espiga (C ESP), diâmetro de espiga (D ESP) em função da suplementação artificial de luz no estádio reprodutivo (R3) da 1ª e 2ª safra.

QUADRADOS MÉDIOS								
R3 1ª SAFRA								
FV	GL	ALT ESP (m)	Nº entrenós	C ent (cm)	N Esp ha ⁻¹	P ESP (Kg)	C ESP (cm)	D ESP (mm)
BLOCO	3	0,03361	4,04	3	7083333	0,08989	0,605	3,73
TRAT	5	0,16258*	2,94	0,4774	3416667	0,03199	0,908	9,22**
RESÍDUO	15	0,006517	1,34	11.826,0000	1008333	0,04767	0,435	1,84
CV (%)		4,47	8,1	5,3	20,25	27,05	3,77	2,85
R3 2ª SAFRA								
FV	GL	ALT ESP (m)	Nº entrenós	C ent (cm)	N Esp ha ⁻¹	P ESP (Kg)	C ESP (cm)	DESP (mm)
BLOCO	3	0,0568	1,8333	0,6316	7083333	0,08989	28,0104	8,3824
TRAT	5	0,0269	3,66	0,3263	3416667	0,03199	30,9174	22,3357
RESÍDUO	15	0,0173	1,33	1,2352	1008333	0,04767	31,704	8,3747
CV (%)		9,49	7,91	6,09	20,25	27,05	31,53	6,5

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 5. Resumo da análise de variância das variáveis porcentagem de açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR), amido (Amido) em função da suplementação artificial de luz na 1ª e 2ª safra nos estádios V8 e VT. E das variáveis taxa fotossintética (A), taxa transpiratória (E) e condutância estomática (gs) em função da suplementação artificial de luz na 2ª safra nos estádios V8 e VT.

QUADRADOS MÉDIOS									
V8 SAFRA					V8 2ª SAFRA				
FV	GL	AST (%)	AR (%)	ANR (%)	AMIDO (%)	AST (%)	AR (%)	ANR (%)	AMIDO (%)
BLOCO	3	0,000764	0,00173	0,000436	2,8358	0,0234	0,0292	0,00351	11,823
TRAT	5	0,006963**	0,00646**	0,000846	11,7769**	0,0027	0,0054	0,01693	12,814
RESÍDUO	15	0,000909	0,00168	0,002132	2,6815	0,0112	0,0086	0,00292	16,770
CV (%)		6,2	9,57	79,26	13,31	16,05	21,69	23,57	14,68
VT 1ª SAFRA					VT 2ª SAFRA				
FV	GL	AST (%)	AR (%)	ANR (%)	AMIDO (%)	AST (%)	AR (%)	ANR VT (%)	AMIDO (%)
BLOCO	3	0,02224	0,0024796	0,015694	1,02753	0,01637	0,00217	0,00735	244,965
TRAT	5	0,03123	0,0010863	0,024023	32,5636*	0,04166	0,00781*	0,03681	63,902
RESÍDUO	15	0,01145	0,0028056	0,010338	10,277	0,01597	0,002406	0,00869	27,497
CV (%)		14,14	10,4	41,04	20,24	13,06	14,75	14,13	18,97
V8 2ª SAFRA				VT 2ª SAFRA					
FV	GL	A V	E V8	gs V8	A VT	E VT	gs VT		
BLOCO	3	206,416	0,55488	0,0021	364,374	0,28779	0,0007		
TRAT	5	63094	0,22706	0,0014	80,337	0,63023	0,0032		
RESÍDUO	15	134,615	0,168127	0,001	1.477,068	0,34051	0,0024		
CV (%)		7,85	12,71	18,57	30,5	19,26	33,82		

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

APÊNDICE B - Análise de variância do capítulo II

Tabela 1. Resumo da análise de variância das variáveis altura (ALT), diâmetro do colmo (D COL), clorofila “a” (Clor a), clorofila “b” (Clor b), clorofila total (Clor total), área foliar (AF), massa fresca da parte vegetativa (MFPV), massa seca da parte vegetativa (MSPV), em função da suplementação artificial de luz nos estádios vegetativos (V4 e V8,) da 1ª e 2ª safra.

QUADRADOS MÉDIOS									
V4 1ª SAFRA									
FV	GL	ALT (m)	D COL (mm)	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (g)	MSPV (g)
BLOCO	3	0,0006	2,898	4,211	2,146	8,181	8184	54,93	0,2
TRAT	4	0,0001	1,644	5,162	7,831*	23,933	41196	263,8	5,5
RESÍDUO	12	0,0002	2,372	3,842	1,662	9,265	63494	506,6	2,7
CV (%)		9,03	8,76	4,69	10,72	5,66	30,67	30,75	25,28
V4 2ª SAFRA									
FV	GL	ALT (cm)	D COL (mm)	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (g)	MSPV (g)
BLOCO	3	2,919	0,946	5,4375	26,2388	53,364	9497,7	22,6	0,2044
TRAT	4	0,703	1,410	1,2864	6,8811	10,794	10851,3	27,2	0,4920
RESÍDUO	12	0,853	0,805	0,9434	11,125	16,178	5536,7	18,933	0,2039
CV (%)		8,17	8,54	2,12	22,33	6,62	30,01	33,22	30,9
V8 1ª SAFRA									
FV	GL	ALT (m)	D COL (mm)	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (g)	MSPV (g)
BLOCO	3	0,0004	22,2569	15,635	12,8823	25,795	1532899	9739,2	232,8
TRAT	4	0,004	0,3053	1,3259	5,3508	3,3776	158511	30512,3	347,3
RESÍDUO	12	0,0044	2,2453	0,9616	6,1523	28,84	294820	17292,7	147,97
CV (%)		8,29	4,34	6,82	16,77	8,91	16,63	18,44	22,61
V8 2ª SAFRA									
FV	GL	ALT (cm)	D COL (mm)	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (g)	MSPV (g)
BLOCO	3	7,1	10,2644	2,941	16,5107	33,264	84481	724,18	3,4667
TRAT	4	0,812	1,3078	2,7266	2,5479	10,275	501762	183,45	4,7000
RESÍDUO	12	0,755	2,8295	2,3213	2,8287	9,523	402661	492,52	8,3
CV (%)		3,44	8,24	3,48	13,03	5,45	38,11	24,29	25,27

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 2. Resumo da análise de variância das variáveis altura (ALT), diâmetro do colmo (D COL), clorofila “a” (Clor a), clorofila “b” (Clor b), clorofila total (Clor total), área foliar (AF), massa fresca da parte vegetativa (MFPV), massa seca da parte vegetativa (MSPV), em função da suplementação artificial de luz nos estádios vegetativos (V10 e V12,) da 1ª e 2ª safra.

QUADRADOS MÉDIOS									
V10 1ª SAFRA									
FV	GL	ALT (m)	DIA	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (g)	MSPV (g)
BLOCO	3	0,0266	2,1449	22,023	1,8188	35,112	2181457	3757,9	1058,98
TRAT	4	0,0090	1,5215	13,015	8,8721	35,576	344751	8156,1	178,25
RESÍDUO	12	0,0078	10,9367	11,328	2,7862	19,732	356388	7298,5	180,32
CV (%)		4,99	10,68	10,4	20,1	10,92	9,85	9,28	11,7
V10 2ª SAFRA									
FV	GL	ALT (cm)	DIAM	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (g)	MSPV (g)
BLOCO	3	271,726	12,935	5,6631	2,1782	12,0531	187447	94790	790,93
TRAT	4	2,283	2,3934	4,4730	2,9884	14,6783	515862	2708	22,7
RESÍDUO	12	39,325	1,0118	1,7771	1,7012	5,2632	792053	12052	86,43
CV (%)		9,2	3,76	3,07	9,23	3,99	20,35	19,67	17,09
V12 2ª SAFRA									
FV	GL	ALT m	DIAM	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (g)	MSPV (g)
BLOCO	3	0,1404	9,3945	2,9978	21,0527	31,627	644424	83867	813,53
TRAT	4	0,0116	2,4944	4,4207	2,4648	10,214	100300	101520	530,3
RESÍDUO	12	0,0148	1,3279	4,0974	5,9871	16,802	997994	33724	310,7
CV (%)		6,33	4,55	4,68	19,36	7,34	13,79	23,14	15,23

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 3. Resumo da análise de variância das variáveis altura (ALT), diâmetro do colmo (D COL), clorofila “a” (Clor a), clorofila “b” (Clor b), clorofila total (Clor total), área foliar (AF), massa fresca da parte vegetativa (MFPV), massa seca da parte vegetativa (MSPV), massa fresca da parte reprodutiva (MFPR), massa seca da parte vegetativa (MSPV), massa seca da parte reprodutiva (MSPR), massa fresca total no estádio reprodutivo (MFT), massa seca total no estádio reprodutivo (MST), em função da suplementação artificial de luz no estádio reprodutivo (VT/R1) da 1ª e 2ª safra.

QUADRADOS MÉDIOS													
VT 1ª SAFRA													
FV	GL	ALT (m)	D COL (mm)	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (g)	MSPV(g)	MFPR (g)	MSPR (g)	MFT (g)	MST (g)
BLOCO	3	0,0642	2,7569	9,664	7,5401	28,27	285464	17811,7	842,33	8122,3	842,30	1651,7	0,0016
TRAT	4	0,0146	3,9815	18,299	6,7064	31,383	347221	8887,0	1910,3	8954,0	1910,30	1332,2	0,0013
RESÍDUO	12	0,0094	4,5231	37,764	11,0271	77,985	356331	7702,1	922,83	5357,3	922,83	4202,7	0,0042
CV (%)		3,08	8,02	16,85	46,82	20,27	8,32	9,44	41,44	37,63	41,44	23,29	23,29
VT 2ª SAFRA													
FV	GL	ALT (m)	D COL (mm)	Clor a	Clor b	Clor total	AF (cm ²)	MFPV (g)	MSPV (g)	MFPR (g)	MSPR (g)	MFT (g)	MST (g)
BLOCO	3	0,0446	5,5911	22,323	34,526	16,648	124344	25902	251,24	5508,1	2006,1	54287	8659,4
TRAT	4	0,0331	3,9667	21,512	17,650	73,481	219388	72974	459,62	20552,7	4514,8**	121715	8349,7
RESÍDUO	12	0,0138	1,237	17,319	8,525	25,861	899705	35351	325,22	11832,8	825,7	55452	3387,6
CV (%)		4,22	4,7	10,18	17,21	8,79	15,28	22,56	20,26	32,31	32,04	20,13	24,76

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4. Resumo da análise de variância das variáveis altura de inserção da primeira espiga (ALT ESP), número de entrenós (N° entrenós), comprimento de entrenós (C ent) número de espigas ha⁻¹ (N° Esp ha⁻¹), peso de espiga (PESP), comprimento de espiga (C ESP), diâmetro de espiga (D ESP) em função da suplementação artificial de luz no estádio reprodutivo (R3) da 1ª e 2ª safra.

QUADRADOS MÉDIOS								
R3 1ª SAFRA								
FV	GL	Alt esp (m)	N° entrenós	C ent (cm)	N Esp ha.	P ESP (g)	C ESP (cm)	D ESP (mm)
BLOCO	3	0,0215	1,6667	1,2605	692218	404488	0,35	5,0957
TRAT	4	0,0097	3,6750*	0,5162	150049	624662	0,9182*	4,2681
RESÍDUO	12	0,0044	1,0417	0,6992	112736	504486	0,2795	1,8595
CV (%)		3,89	7,14	4,08	17,93	15,97	3,04	2,84
R3 2ª SAFRA								
FV	GL	Alt esp (m)	N° entrenós	C ent (cm)	N Esp ha.	P ESP (g)	C ESP (cm)	D ESP (mm)
BLOCO	3	0,0315	2,5333	1,0789	348243	1023425	38,434	2,0316
TRAT	4	0,0150	3,5750	0,4077	506536	3848994	38,618	3,6724
RESÍDUO	12	0,0169	1,4083	0,7555	274073	408162	36,629	2,9066
CV (%)		9,54	8,24	4,77	10,62	24,81	33,84	3,76

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 5. Resumo da análise de variância das variáveis porcentagem de açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR), amido (Amido) em função da suplementação artificial de luz na 1ª e 2ª safra nos estádios V8 e VT. E das variáveis taxa fotossintética (A), taxa transpiratória (E) e condutância estomática (gs) em função da suplementação artificial de luz na 2ª safra nos estádios V8 e VT.

QUADRADOS MÉDIOS									
		V8 1ª SAFRA				V8 2ª SAFRA			
FV	GL	AST (%)	AR (%)	ANR (%)	Amido (%)	AST (%)	AR (%)	ANR (%)	Amido (%)
BLOCO	3	0,0013	0,0008	0,0002	3,4278	0,0198	0,0252	0,0169	13,329
TRAT	5	0,0045*	0,0045	0,0010	14,6933**	0,0027	0,0053	0,0035	10,030
RESÍDUO	15	0,0009	0,0019	0,002	2,1855	0,0125	0,0092	0,0029	20,464
CV (%)		6,11	10,1	77,22	12,05	16,84	22,09	23,57	16,48
		VT 1ª SAFRA				VT 2ª SAFRA			
FV	GL	AST (%)	AR (%)	ANR (%)	Amido (%)	AST (%)	AR (%)	ANR (%)	Amido (%)
BLOCO	3	0,024	0,0018	0,0202	0,1691	0,02827	0,001	0,0368	243,023
TRAT	5	0,0187	0,0012	0,0121	23,1644	0,0226	0,0085*	0,0073	70,729
RESÍDUO	15	0,0133	0,0034	0,0117	11,107	0,0114	0,0021	0,0086	28,701
CV (%)		14,78	11,42	39,76	22,11	10,74	13,57	14,13	19,78
		V8 2ª SAFRA			VT 2ª SAFRA				
FV	GL	E V8	A V8	Gs V8	E VT	A VT	Gs VT		
BLOCO	3	0,3235	18,7415	0,0013	0,2614	60,401	0,0013		
TRAT	5	0,2766	7,7189	0,0018	0,786	86,919	0,0039		
RESÍDUO	15	0,0948	11,9164	0,0008	0,3031	160,48	0,0025		
CV (%)		9,51	7,4	17,3	18,16	32,34	33,56		

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.