Microverdes de mostarda em função da densidade de fluxo de fótons em cultivo *indoor*

Carlos Eduardo Vieira de Oliveira[1], Athirson Oliveira Souza[2], Nayanne Rodrigues de Oliveira[2], Caio Ferreira Borges[3], Vinícius Marinho Dias[4], Márcio Rosa[5].

[1]Graduando do curso de Agronomia, Universidade de Rio Verde. Aluno de Iniciação Científica - PIBIC.
[2]Engenheiro (a) Agrônomo (a).
[3] Graduando do curso de Agronomia, Universidade de Rio Verde. Aluno de Iniciação Científica - PIVIC.
[4]Graduando do curso de Agronomia, Universidade de Rio Verde.
[5]Orientador – Universidade de Rio Verde – GO, marciorosa@unirv.edu.br.

.

Reitor:
Prof. Me. Alberto Barella Netto

Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação:
Prof. Dr. Carlos César E. de Menezes

Editor Geral:
Prof. Dra. Andrea Sayuri Silveira Dias Terada

Editores de Seção:
Profa. Dra. Ana Paula Fontana
Prof. Dr. Hidelberto Matos Silva
Prof. Dr. Fábio Henrique Baia
Pra. Dra. Muriel Amaral Jacob
Prof. Dr. Matheus de Freitas Souza
Prof. Dr. Warley Augusto Pereira

Fomento:
Programa PIBIC/PIVIC UniRV/CNPq 2022-2023

Resumo: O aumento da intensidade luminosa tem o potencial de favorecer o acúmulo de biomassa, de bioativos e diminuir a concentração de nitratos nos tecidos. Nesse sentido, objetivou-se com este estudo avaliar a influência da intensidade luminosa por meio da utilização de LEDs sobre a concentração de pigmentos cloroplastídicos, o crescimento e a atividade antioxidante de microverdes de mostarda. Para tal, foi conduzido experimento em sala de crescimento sob delineamento inteiramente casualizado, com quatro densidades de fluxo de fótons fotossintéticos, sendo 50, 100, 200 e 300 µmol m^{-2} s^{-1}, com 05 repetições. Aos 10 dias de cultivo, foi avaliada a altura de plantas, área foliar, massa fresca e seca de plântulas, concentrações de clorofilas e carotenoides e atividade antioxidante. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando significativa, submetida a ajustes de modelo de regressão. Para o crescimento de microverdes de mostarda, a densidade de fluxo de fótons mais adequada foi entorno de 200 µmol m^{-2} s^{-1}. A atividade antioxidante aumentou em função do aumento de luminosidade, enquanto intensidades inferiores a 100 µmol m^{-2} s^{-1} representam condições subótimas para o ganho de biomassa de microverde de mostarda.

Palavras-Chave: Cultivo *indoor*. *Brassica juncea*. Microgreens. Intensidade luminosa.

Microverdes de mostarda em função da densidade de fluxo de fótons em cultivo indoor

Abstract: Increasing light intensity has the potential to favor the accumulation of biomass and bioactives and reduce the concentration of nitrates in tissues. In this sense, the objective of this study was to evaluate the influence of light intensity through the use of LEDs on the concentration of chloroplast pigments, growth

and antioxidant activity of mustard microgreens. To this end, an experiment was conducted in a growth room under a completely randomized design, with four flux densities of photosynthetic photons, being 50, 100, 200 and 300 µmol m^{-2} s^{-1}, with 05 replications. After 10 days of cultivation, plant height, leaf area, fresh and dry mass of seedlings, concentrations of chlorophylls and carotenoids and antioxidant activity were evaluated. The data obtained were subjected to analysis of variance and, when significant, subjected to regression model adjustments. For the growth of mustard microgreens, the most suitable photon flux density was around 200 µmol m^{-2} s^{-1}. Antioxidant activity increased as a function of increased light, while intensities below 100 µmol m^{-2} s^{-1} represent suboptimal conditions for the gain of mustard microgreen biomass.

Keywords: *Indoor cultivation.* Brassica juncea*. Microgreens. Light intensity.*

Introdução

Microverdes ou microgreens são vegetais jovens, muito pequenos, consumidos precocemente, quando ainda têm cotilédones e apresentam as primeiras folhas. Saborosos, tenros e nutritivos, normalmente colhidos em até 21 dias após a semeadura, adaptam-se facilmente a pequenos espaços e sistemas de cultivo orgânico (Renna et al., 2018). Os microverdes são fontes de diversos nutrientes importantes para o ser humano, como carotenoides, fenólicos, vitaminas, minerais, tocoferóis, ácido ascórbico, entre outros, conhecidos por sua textura crocante, cores atrativas, diferentes aromas e sabores conhecidos (Katsenios et al., 2021). Ao estudar diferentes espécies, Johnson et al. (2021) relatam que os microverdes possuem uma ampla e diversificada gama de metabólitos e minerais e que muitas, mas não todas, espécies superam as plantas adultas. Resultados semelhantes foram obtidos para sais minerais por Yadav et al. (2019), ao observarem diferentes espécies nos estágios microverdes e adultos, no entanto, os adultos apresentaram níveis mais elevados de antioxidantes.

Os microverdes podem ser cultivados dentro de casa sob luz artificial ou em estufas. Em ambiente protegido, alguns produtores conseguem produzir as mudas de microverdes com fotoperíodo de 16 a 24 horas, intensidade luminosa de 150 a 450 µmol m^{-2} s^{-1}, temperatura em torno de 21°C e umidade relativa de 40 a 60% (Freitas, 2020). Em câmaras de luz artificial, as luzes LED oferecem maiores vantagens sobre outros tipos de iluminação, com fótons entre 50 e 440 µmol m^{-2} $s^{-1,}$ se mostrando ideais para a maioria dos microverdes (Verlinden, 2020). Isso porque as lâmpadas LED possuem uma distribuição de luminosidade mais uniforme em comparação com outras lâmpadas mais tradicionais. O aumento da intensidade luminosa tem o potencial de favorecer ao acúmulo de biomassa, de bioativos e diminuir a concentração de nitratos nos tecidos (Samuoliene et al., 2013).

Nesse contexto, objetivou-se com esta pesquisa, avaliar a influência da intensidade luminosa por meio da utilização de LEDs sobre a concentração de pigmentos cloroplastídicos, o crescimento e a atividade antioxidante de microverdes de mostarda.

Material e Métodos

O estudo foi realizado em sala de crescimento da Faculdade de Agronomia da Universidade de Rio Verde, utilizando-se sementes de mostarda Lisa (Horticeres). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro densidades de fluxo de fótons fotossintéticos, sendo 50, 100, 200 e 300 µmol m^{-2} s^{-1}, com 05 repetições, cada uma constituída por uma bandeja plástica de 10 cm x 14 cm preenchida com 160g do substrato comercial Bioplant Plus previamente umedecido com 160mL de água. Foram utilizadas 1,5g de sementes por bandeja (6 sementes cm^{2}). Cada tratamento foi conduzido sob estrutura metálica de 1m x 0,5 m, contendo luminárias de LED de amplo espectro modelo SI (Spectral Int®, Brasil). A intensidade e a qualidade de luz proporcionadas pelas luminárias foram aferidas por espectrorradiômetro modelo LI-180 (Li-Cor, NE, USA).

A temperatura foi mantida em 25 ± 2ºC e fotoperíodo de 12h. As plântulas foram borrifadas periodicamente para evitar ressecamento. Aos 10 dias de cultivo, foi avaliada a altura de plantas, área foliar, massa fresca e seca de plântulas, concentrações de clorofilas e carotenoides e atividade antioxidante. A atividade antioxidante foi analisada a partir do método DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), adaptado de Brand-Williams et al., (1995). As concentrações de pigmentos cloroplastídicos (clorofilas *a* e *b,* e carotenoides) foram determinadas a partir do restante extrato remanescente da

análise anterior, com o volume sendo completado para 10 ml com etanol sendo centrifugadas a 3000 rpm por 10 minutos. As absorbâncias dos extratos foram lidas em espectrofotômetro UV-VIS conforme Wellburn (1994). A altura das plântulas foi obtida a partir da mensuração com régua milimetrada. A área foliar foi obtida a partir de fotografias digitais obtidas por celular e processadas por meio do software Image J**.** A matéria fresca de folhas e caules foi determinada em balança de precisão. Os valores de matéria seca foram determinados em balança analítica, sendo as pesagens realizadas após a secagem do material à temperatura de 60 ºC por 72 horas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando significativa, submetida a ajustes de modelo de regressão.

Resultados e Discussão

Verificou-se que a concentração dos pigmentos avaliados, nem a razão entre clorofila *a* e *b* variaram. Contudo, houve alteração na razão entre carotenoides e clorofilas totais (Tabela 1).

Tabela 1 – Concentrações de pigmentos cloroplastídicos em microverdes de mostarda aos 10 dias de cultivo. Clorofila a (CLA), clorofila b (CLB), carotenoides (CAR), razão entre clorofilas a e b (A/B), clorofilas totais (CLT) e razão entre carotenoides e clorofilas totais (CAR/CLT)

Fonte de variação	CLA	CLB	CAR	A/B	CLT	CAR/CLT
Intensidade de luz	ns	ns	ns	ns	ns	*
CV (%)	15,6	19,1	14,5	6,7	16,2	4,1
Média geral	446,3	137,0	124,1	3,3	583,3	0,21

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ns: não significativo. CV.: coeficiente de variação.
Fonte: autoria própria

A ausência de variação nas concentrações de clorofilas *a* e *b*, (Figura 1C) indicam estabilidade do ambiente para estas plântulas. Em estudo com microverdes de mostarda Samouliene et al.(2013), em irradiâncias entre 110 e 545 µmol m^{-2} s^{-1} observaram variação, no caso aumento de índice de clorofilas totais somente na intensidade mais alta. Menor teor de carotenoides foi observado por Craver et al. (2017) em microverdes de couve-mizuna e mostarda quando cultivados em 208 e 312 µmol m^{-2} s^{-1} do que em 104 µmol m^{-2} s^{-1}.

Neste estudo, embora a concentração de carotenoides não tenha aumentado em função do aumento de luminosidade (Figura 1D), verificou-se acréscimo linear da razão entre carotenoides e clorofilas nestas condições. Isso pode estar relacionado ao papel fotoprotetor dos carotenoides, pois eles estão associados à dissipação do excesso da energia dos fótons por meio de calor, e desta maneira protegem as clorofilas da foto-oxidação e reduzem o risco de fotoinibição (Jahns; Holzwarth, 2012).

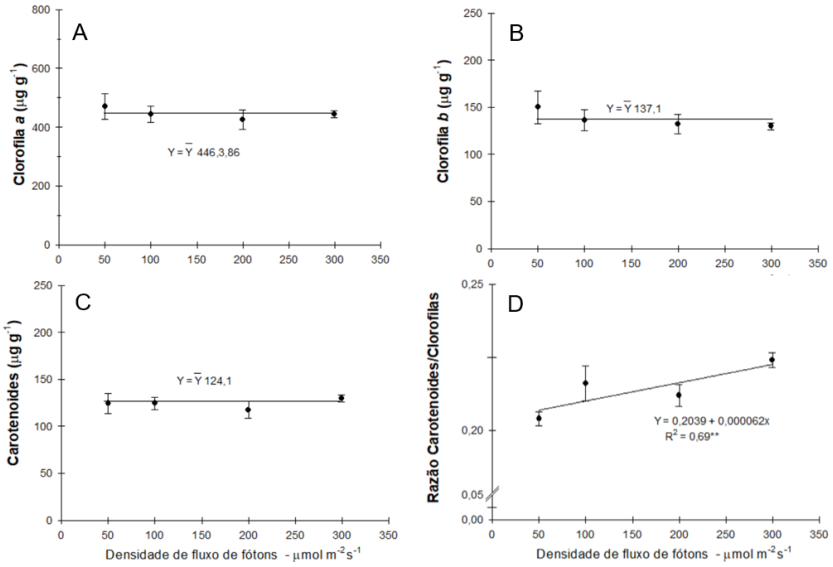

Figura 1 - Pigmentos cloroplastídicos em microverdes de mostarda aos 10 dias de cultivo em função da densidade de fluxo de fótons. Clorofila a (A), clorofila b (B), carotenoides (C) e razão entre carotenoides e clorofilas totais (D). ** : significativo a 1% de probabilidade. As barras representam o erro padrão da média.
Fonte: autoria própria

Constatou-se que a densidade de fluxo de fótons afetou significativamente a maioria das características biométricas avaliadas. As exceções foram à massa fresca e seca do caule (Tabela 2).

Tabela 2 – Resumo da análise de variância das características biométricas e atividade antioxidante (ANT) de microverdes de mostarda cultivados em função da densidade de fluxo de fótons. Altura de plantas (ALT), área foliar (AF) Massa fresca do caule (MFC), massa fresca da folha (MFF), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca do caule (MSC), massa seca da folha (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA)

Fonte de variação	ALT	AF	MFC	MFF	MFPA	MSC	MSF	MSPA	ANT
Intensidade de Luz	**	**	ns	*	*	ns	*	*	*
CV (%)	8,5	7,7	47,5	38,6	26,7	33,9	41,0	29,6	13,5
Média geral	5,3	2,2	44,3	48,7	93,1	1,4	2,5	3,9	10,7

**; * e ns: significativo a 1 e a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste.
Fonte: autoria propria

A altura de plantas diminuiu linearmente em função do aumento da luminosidade (Figura 2A). O maior comprimento das plântulas nas menores irradiâncias é uma resposta típica de plantas crescidas em ambiente com restrição de luz e com tendência a menor biomassa alocada no caule, fenômeno chamado de estiolamento do caule sendo esse mecanismo ocasionado pela interação de fitohormônios e substâncias fotorreceptoras como os fitocromo e criptocromos (Veglio, 2010). Já para a área foliar (Figura 2B) foi observado comportamento quadrático, com ponto de máxima em 188 µmol m^{-2} s^{-1}. Geralmente as plantas com menor disponibilidade luminosa investem, relativamente, maior proporção de fotoassimilados no aumento da área foliar, para maximizar a captação da luz disponível. Geralmente possuem folhas delgadas, maior área foliar específica e folhas com menor densidade de massa (Lambers et al., 2008).

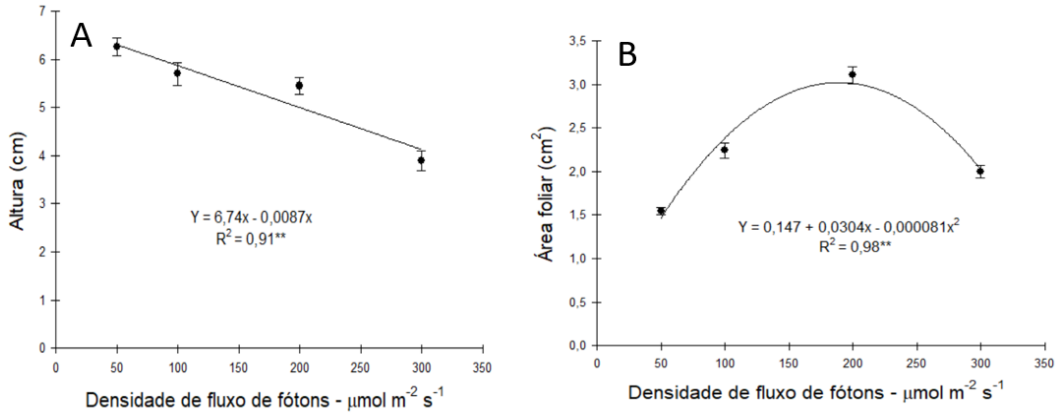

Figura 2 – Altura de plantas (A) e área foliar (B) em microverdes de mostarda cultivados em função da densidade de fluxo de fótons. **: significativo a 1% de probabilidade. As barras representam o erro padrão da média.
Fonte: autoria própria

A massa seca e fresca de caule (Tab. 2, Fig. 3A) não variaram, no entanto a massa fresca de folhas (Figura 3B) e da parte aérea (Figura 3C) exibiram comportamento quadrático em função da intensidade luminosa com pontos de máxima em 188 e 196µmol m^{-2} s^{-1}, respectivamente. Isso consequentemente refletiu no acúmulo de matéria seca total, a qual também exibiu comportamento quadrático com ponto de máxima na densidade de fluxo de fótons de 205 µmol m^{-2} s^{-1}, chegando a ser 36 % superior à menor densidade utilizada (Figura 3D). O menor acúmulo de biomassa observado nas menores irradiâncias possivelmente atribui-se à biossíntese insuficiente de ATP e NADPH que assegurasse a fixação do carbono e, consequentemente, a biossíntese de carboidratos, ocasionando menor crescimento das plantas (Sáez et al., 2016). Baixas intensidades luminosas são capazes até de saturar a reação dos fitocromos e criptocromos, mas podem ser insuficientes para a plenitude do processo fotossintético (Zheng; Van Labeke, 2018) e, consequentemente, do acúmulo de biomassa.

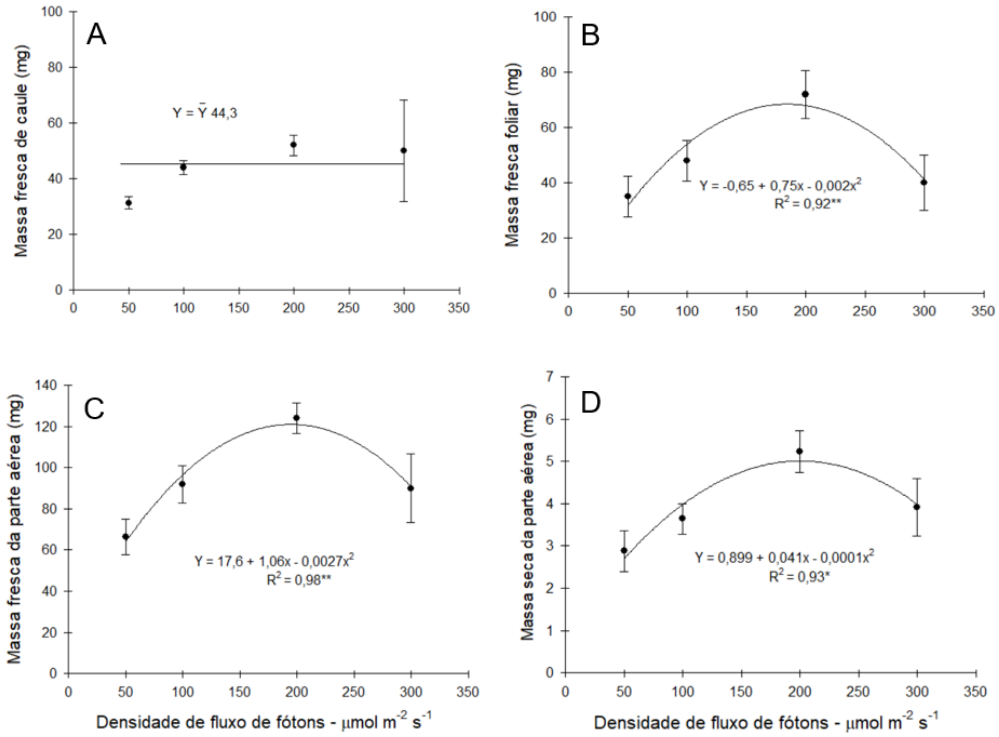

FIGURA 3 - Massa fresca de caule (A), massa fresca foliar (B), massa fresca da parte aérea (folha e caule) (C) e massa seca da parte aérea (D) de microverdes de mostarda cultivados em função da densidade de fluxo de fótons. **; *: significativo a 1 e a 5% de probabilidade. As barras representam o erro padrão da média.
Fonte: autoria própria

Similar ao observado por Samuoliene et al. (2013), ao aumento da intensidade luminosa promoveu aumento da atividade antioxidante (Figura 4) indicando que maiores irradiâncias conferem um certo grau de estresse. Os principais antioxidantes nos vegetais são as vitaminas C e E, os carotenoides e os compostos fenólicos, especialmente os flavonoides. Esses antioxidantes absorvem radicais livres e inibem a cadeia de iniciação ou interrompem a cadeia de propagação das reações oxidativas promovidas pelas espécies reativas de oxigênio (EROs) (Podsedek, 2007; Pinnola; Bassi, 2018). Dessa forma maior atividade antioxidante pode indicar maior teor de bioativos e ser uma característica desejável para fins nutracêuticos.

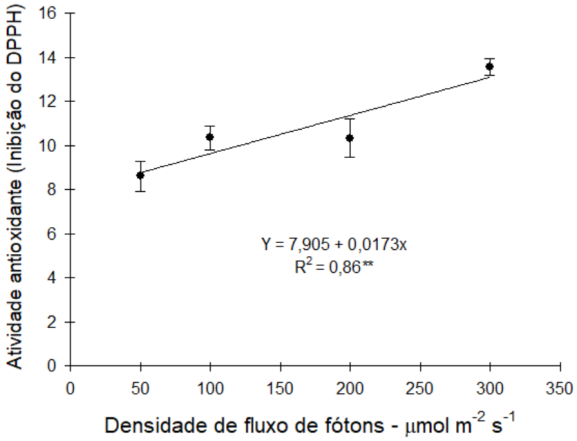

Figura 4 – Atividade antioxidante avaliada por meio da inibição do DPPH de extrato de folhas de microverdes de mostarda cultivados em função da densidade de fluxo de fótons. ** significativo a 5% de probabilidade. As barras representam o erro padrão da média.
Fonte: autoria própria

Conclusão

Densidades de fluxo de fótons em torno de 200 µmol m^{-2} s^{-1} foram as mais adequadas para a promoção do crescimento em microverdes de mostarda cv Lisa. A atividade antioxidante aumentou em

função do aumento de luminosidade, enquanto densidades de fluxo de fótons inferiores a 100 µmol m^{-2} s^{-1} representam condições subótimas para o ganho de biomassa de microverde de mostarda.

Agradecimentos

À Universidade de Rio Verde e ao Programa de Iniciação Científica pela concessão de bolsa e oportunidade de aprendizado.

Referências Bibliográficas

BRAND-WILIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C., Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity, **LWT-Food Science Technology**., v. 28, 25-30, 1995.

CRAVER, J. K.; GEROVAC, J. R.; LOPEZ, R. G. Light intensity and light quality from solesource light-emitting diodes Impact Phytochemical Concentrations within Brassica Microgreen. **Journal American Society for Horticultural Science,** v. 142, p. 3 – 12, 2017.

FREITAS, I. S. Suplementação Luminosa com Lâmpadas LED na produção de microverdes em ambiente protegido. **Dissertação** (Mestrado em Ciências – Fitotecnia), Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"], 48p, 2020.

JAHNS, P.; HOLZWARTH, A.R. The role of the xanthophyll cycle and of lutein in photoprotection of photosystem II. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1817, n. 1, p. 182–193, 2012.

JOHNSON, S. A. et al. Comprehensive evaluation of metabolites and minerals in 6 microgreen species and the influence of maturity. **Current Developments in Nutrition**, v.5, n. 2, p. 112, 2021.

KATSENIOS, N.; CHRISTOPOULUS, M. V.; KAKABOUKI, I.; VLACHAKIS, D.; KAVVADIAS, V.; EFTHIMIADOU, A. Effect of pulsed electromagnetic field on growth, physiology and postharvest quality of kale (Brassica oleracea), wheat (Triticum durum) and spinach (Spinacia oleracea) microgreens. **Agronomy,** v.11, 1364, 2021

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, T. L. **Plant Physiological Ecology**. 2 ed. Springer, New York. 2008. 11-40. 540p.

PINNOLA, A.; BASSI, R. Molecular mechanisms involved in plant photoprotection. **Biochemical Society Transactions**, v. 46, n. 2, p. 467–482, 2018.

PODSEDEK, A. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. **LWT-Food Science Technology,** v. 40, p. 1-11, 2007.

RENNA, M.; PARADISO, V. M. Ongoing Research on Microgreens: Nutritional Properties, Shelf-Life, Sustainable Production**, Innovative Growing and Processing Approaches. Foods,** v. 9, p. 826, 2020.

SÁEZ, P. L.; BRAVO, L. A.; SÁNCHEZ-OLATE, M.; BRAVO, P. B.; RÍOS, D. G. Effect of photon flux density and exogenous sucrose on the photosynthetic performance during *in vitro* culture of *Castanea sativa*. **American Journal of Plant Sciences**, v. 7, n. 14, 2016.

SAMUOLIENE, G.; BRAZAITYTĖ, A.; JANKAUSKIENĖ, J.; VIRŠILĖ, A.; SIRTAUTAS, R.; NOVIČKOVAS, A.; SAKALAUSKIENĖ, S.; SAKALAUSKAITĖ, J.; DUCHOVSKIS, P. LED irradiance level affects growth and nutritional quality of brassica microgreens. **Central European Journal Biology,** v. 8, p. 1241-1249, 2013.

VEGLIO, A. The shade avoidance syndrome: a non-Markovian stochastic growth model. **Journal of Theoretical Biology**, v. 264, n.3, p. 722–728, 2010.

VERLINDEN, S. Microgreens: Definitions, Product Types, and Production Practices. **Horticultural Reviews,** v. 47, p. 85-124, 2020.

WELLBURN, A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology,** v.144, p. 307-313, 1994.

YADAV, L. P. et al. Antioxidant potentiality and mineral content of summer season leafy greens: Comparison at mature and microgreen stages using chemometric. **Agricultural Research,** v. 8, p. 165 175, 2019

ZHENG, L.; VAN LABEKE, M. C. Effects of different irradiation levels of light quality on Chrysanthemum. **Scientia Horticulturae** v. 233, p. 124–131, 2018.