

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
Tese será disponibilizado somente a
partir de 20/11/2024.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CARACTERÍSTICAS DA LUZ SOBRE A PRODUTIVIDADE E
VALOR NUTRICIONAL DE RÚCULA-MICROVEGETAL EM
CULTIVO *INDOOR***

**Franciele Quintino Mendes
Engenheira Agrônoma**

2023

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CARACTERÍSTICAS DA LUZ SOBRE A PRODUTIVIDADE E
VALOR NUTRICIONAL DE RÚCULA-MICROVEGETAL EM
CULTIVO *INDOOR***

**Discente: Eng. Agr. Franciele Quintino Mendes
Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho
Coorientadores: Prof. Dr. Luis Felipe Villani Purquerio
Prof. Dr. Rogério Falleiros Carvalho**

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como
parte das exigências para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)**

2023

M538c	Mendes, Franciele Quintino Características da luz sobre a produtividade e valor nutricional de rúcula-microvegetal em cultivo indoor / Franciele Quintino Mendes. -- Jaboticabal, 2013 48 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Arthur Bernardes Cecilio Filho Coorientador: Luis Felipe Villani Purquerio; Rogério Falleiros Carvalho 1. Agricultura. 2. Fisiologia vegetal. 3. Hortaliças. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: CARACTERÍSTICAS DA LUZ SOBRE A PRODUTIVIDADE E VALOR NUTRICIONAL DE RÚCULA-MICROVEGETAL EM CULTIVO INDOOR

AUTORA: FRANCIELE QUINTINO MENDES
ORIENTADOR: ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO
COORIENTADOR: LUIS FELIPE VILLANI PURQUERIO
COORIENTADOR: ROGÉRIO FALLEIROS CARVALHO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia (Produção Vegetal), pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO
Data: 20/11/2023 17:52:05-0300
Verifique em <https://validar.jd.gov.br>

Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal

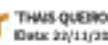
Documento assinado digitalmente
 FREDERICO ROCHA RODRIGUES ALVES
Data: 20/11/2023 17:58:24-0300
Verifique em <https://validar.jd.gov.br>

Prof. Dr. FREDERICO ROCHA RODRIGUES ALVES (Participação Virtual)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB) / João Pessoa/PB

Prof. Dra. THAIS QUEIROZ ZORZETO CESAR (Participação Virtual)
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) / Campinas/SP

Documento assinado digitalmente
 FERNANDO CESAR SALA
Data: 22/11/2023 18:28:00-0300
Verifique em <https://validar.jd.gov.br>

Prof. Dr. FERNANDO CESAR SALA (Participação Virtual)
Departamento Biotecnologia e Produção Vegetal e Animal / Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) - Araras/SP

Documento assinado digitalmente
 THAIS QUEIROZ ZORZETO CESAR
Data: 22/11/2023 23:12:04-0300
Verifique em <https://validar.jd.gov.br>

Prof. Dra. SUSANA CARVALHO (Participação Virtual)
Universidade do Porto / Porto/Portugal



Jaboticabal, 20 de novembro de 2023

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

FRANCIELE QUINTINO MENDES - Nascida em Barrinha, São Paulo, Brasil. Em 2016, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Câmpus Jaboticabal. Durante a graduação realizou 4 anos de iniciação científica e obteve 2 bolsas FAPESP. Em março de 2019, concluiu o Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Microbiologia agropecuária, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Câmpus Jaboticabal, sob a orientação da Profa. Dra. Márcia Justino Rossini Mutton.. Em 2023, graduou-se em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Unimais. Em março de 2020 ingressou no Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Câmpus Jaboticabal, sob a orientação do Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho e coorientação do Prof. Dr. Rogério Falleiros Carvalho e Luis Felipe Villani Purquerio.

Quando é negado a um homem o direito de viver a vida que acredita, ele não tem escolha, a não ser se tornar um fora da lei.

Nelson Mandela

À minha família pelo apoio incondicional em todas as etapas deste trabalho. Especialmente ao meu avô João Quintino (in memoriam) e a minha tia Roseni Quntino (in memoriam), que sempre foram exemplos de força, dedicação, amor e paciência e jamais serão esquecidos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Guilhermina do Carmo Quintino e a minha avó Lucia pelo apoio, amor, compressão e confiança, por me ensinar o valor do esforço e trabalho. A toda minha família, em especial aos meus tios Maria Da Gloria e Ivair de Sousa pelo amor, carinho e ensinamentos.

A meu orientador Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, pelo, incentivo, empenho pessoal e orientação, que tanto contribuíram para a minha formação profissional. Aos meus coorientadores, Prof. Dr. Rogério Falleiros Carvalho e Prof. Dr. Luis Felipe Villani Purquerio, pelo apoio e atenção.

Aos amigos do grupo de pesquisa em nutrição e adubação de hortaliças, Camila Seno, Carolina Seno, Danilo Passos, Breno Pereira, Beliza Queiroz, Julia das Mercês, Isaías Reis, Paulo Henrique Soares, Maria José e Laura Ribeiro, pelas experiências compartilhadas e momentos de descontração. Ao colega de trabalho Reginaldo de Oliveira pela ajuda e parceria.

A minhas amigas, Rafaela Sanguinette, Mariana Miranda e Thainá Botelho pela valiosa amizade e apoio ao longo da vida.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pela oportunidade oferecida.

A Soninha funcionária do Departamento de biologia, pela atenção e assistência.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
Palavras-chave.....	iii
ABSTRACT	iv
KEYWORDS	iv
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 REVISÃO DE LITERATURA	2
1.2.1 Microvegetais.....	2
1.2.2 Rúcula.....	4
1.2.3 Sistema de cultivo indoor.....	5
1.2.4 Iluminação.....	6
1.3 REFERÊNCIAS.....	8
 CAPÍTULO 2 - INTENSIDADES DE LUZ BRANCA PARA MÁXIMOS DE PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA RÚCULA-MICROVEGETAL.....	 14
RESUMO	14
Palavras-chave.....	14
2.1 INTRODUÇÃO.....	15
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	17
2.2.1 Local experimental e tratamentos.....	17
2.2.2 Instalação e condução dos experimentos.....	18
2.2.3 Avaliações realizadas.....	19
2.2.4 Análise estatística	19
2.3 RESULTADOS.....	20
2.4 DISCUSSÃO.....	24
2.5 CONCLUSÃO.....	27
2.6 REFERÊNCIAS.....	28
 CAPÍTULO 3 - PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE RÚCULA-MICROVEGETAL SOB INTENSIDADE E TEMPO DE LUZ AZUL	 32
RESUMO.....	32

Palavras-chave.....	32
3.1 INTRODUÇÃO.....	32
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	35
3.2.1 Local experimental e tratamentos.....	35
3.2.2 Instalação e condução dos experimentos.....	36
3.2.3 Avaliações realizadas.....	37
3.2.4 Análise estatística	37
3.3 RESULTADOS.....	38
3.4 DISCUSSÃO.....	44
3.5 CONCLUSÃO.....	45
3.6 REFERÊNCIAS.....	46

CARACTERÍSTICAS DA LUZ SOBRE A PRODUTIVIDADE E VALOR NUTRICIONAL DE RÚCULA- MICROVEGETAL EM CULTIVO *INDOOR*

RESUMO - O cultivo indoor propicia maior controle e eficiência dos fatores de produção. Entre eles, a possibilidade de adequar a luz à cada espécie possibilita estimular processos fisiológicos e bioquímicos, maximizando a produtividade e qualidade do alimento produzido. Há carência de informações sobre luz branca e adicional de luz azul à branca no cultivo de rúcula-microvegetal. O experimento I avaliou o fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) de LED branca (100, 200, 300, 400, 500 e 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em rúcula microvegetal objetivando obter o FFF que proporcionasse a maior produtividade e melhor qualidade. O experimento II objetivou conhecer o impacto da intensidade (5 e 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e tempo de exposição (1 e 2 horas por dia) a luz azul suplementar na produtividade e qualidade de rúcula microvegetal em cultivo *indoor*. A maior produtividade de rúcula microvegetal foi obtida com 358 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Os maiores teores nitrogênio, fósforo, cálcio, enxofre e zinco foram obtidos com 380, 285, 326, 294 e 317 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente; enquanto máximo teor de Fe foi obtido na menor intensidade luminosa. De maneira geral a qualidade da rúcula microvegetal foi incrementada com maior FFF. Os teores de clorofilas, carotenoides, compostos fenólicos e proteção antioxidante tiveram valores máximos com 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e a vitamina C com 458 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A produtividade de rúcula microvegetal foi afetada negativamente pela luz azul. Os teores de nutrientes, não diferiram entre os tratamentos estudados, exceto para os teores de nitrogênio, onde o tratamento que recebeu 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz azul por uma hora, foi menor que os demais e para o teor de fósforo, onde o tratamento que recebeu 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz azul por uma hora foi significativamente menor que as demais, a qualidade da rúcula microvegetal foi incrementada com o aumento da intensidade de luz azul e com o aumento do tempo de exposição. Os teores de clorofilas, carotenoides, vitamina C, proteção antioxidante e compostos fenólicos tiveram valores máximos com 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz azul e 2 horas de tratamento.

Palavras chaves: Adicional de luz azul; Cultivo indoor; *Eruca sativa*; Fluxo de fótons fotossinteticamente ativos; Qualidade da luz; Valor nutracêutico.

CHARACTERÍSTICS OF THE LIGHT ON PRODUCTIVITY AND NUTRITIONAL VALUE OF MICROGREEN ARUGULA IN *INDOOR* SYSTEM

ABSTRACT – Indoor cultivation provides greater control and efficiency of production factors. Among them, the possibility of adapting the light to each species makes it possible to stimulate physiological and biochemical processes, maximizing the productivity and quality of the food produced. There is a lack of information about white light and additional blue to white light in arugula-microgreens cultivation. Experiment I evaluated the photosynthetic photon flux (FFF) of white LED (100, 200, 300, 400, 500 and 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) in microgreens arugula, aiming to obtain the FFF that would provide the highest productivity and best quality. Experiment II aimed to understand the impact of intensity (5 and 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and exposure time (1 and 2 hours per day) of blue light on the productivity and quality of microgreens arugula in indoor cultivation. The highest productivity of microgreens arugula was obtained with 358 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The highest nitrogen, phosphorus, calcium, sulfur and zinc contents were obtained with 380, 285, 326, 294 and 317 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectively; while maximum Fe content was obtained at the lowest light intensity. The quality of microgreens arugula was increased with higher FFF. The levels of chlorophylls, carotenoids, phenolic compounds and antioxidant protection had maximum values at 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and vitamin C at 458 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Microgreens arugula productivity was negatively affected by blue light. Nutrient contents did not differ between the treatments studied, except for nitrogen content, where the treatment that received 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of blue light for one hour was lower than the others, and for phosphorus content, where the treatment that received 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of blue light for one hour was significantly lower than the others, the quality of the microgreens arugula was increased with the increase in blue light intensity and with the increase in exposure time. The levels of chlorophylls, carotenoids, vitamin C, antioxidant protection and phenolic compounds had maximum values with 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of blue light and 2 hours of treatment.

Keywords: Additional blue light; Indoor cultivation; *Eruca sativa*; Photosynthetically active photon flux; Quality of light; Nutraceutical value.

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

1.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a ingestão de hortaliças e frutas é pequena e está a baixo de 400 g per capita/dia, que é o mínimo recomendado pela Food and Agriculture Organization (2016) para a manutenção da saúde e prevenção de enfermidades crônicas como cânceres, doenças cardíacas, diabete e obesidade, além de suprir a necessidade de nutrientes (Purquerio et al. 2018). Os microvegetais podem estimular o aumento do consumo de hortaliças no Brasil, inclusive por crianças, que têm simpatia por produtos de tamanho reduzido e de coloração diversificada. Estas plântulas colhidas quando as folhas cotiledonares estão totalmente desenvolvidas (Purquerio et al. 2018), vêm ganhando mercado entre consumidores e produtores, devido ao seu frescor, cores, sabor, valor nutricional, rapidez na produção e alta produtividade. Podem ser cultivados em ambientes de alto controle (*indoor*) ou não, sendo adaptáveis a grandes plantações comerciais, inclusive à crescente agricultura urbana.

Em sistema de cultivo *indoor*, o primeiro fator de produção a ser avaliado para promover adequado crescimento e desenvolvimento, que têm impacto na produção e qualidade do alimento produzido, é a luz. Trata-se de um sinal ambiental, desencadeador de mecanismos específicos de sinalização de resposta por meio de fotorreceptores (Yano et al., 2023), que ao ser manejado, permite otimizar o fotoperíodo, a intensidade e o espectro luminoso às plantas (Kang et al., 2020).

A tecnologia de LED (light emitting diode) tem proporcionado avanço e a popularização na aplicação de luz às plantas, em especial às hortaliças e condimentos. Revisão realizada por Lazzarini et al. (2017) mostra que estudos têm sido realizados para adequação de luz à produção de espécies vegetais, em cultivo *indoor*. Adicionalmente à possibilidade de permitir adequações, tanto em fotoperíodo quanto em intensidade de luz, frente ao excesso ou à deficiência da radiação ambiental, a qualidade da luz tem sido estudada objetivando a melhoria da qualidade nutracêutica de diferentes espécies e seus impactos sobre a produção (Ilić et al. 2017; Ntsoane et al. 2016).

Mais de 80 espécies de plantas podem ser cultivadas como microvegetais. Contudo, as espécies mais populares são da família Brassicaceae (Sun et al. 2013),

como a rúcula, que é uma das hortaliças folhosas muito apreciada na gastronomia brasileira. Esta possui elevado potencial de síntese de compostos secundários bioativos e polifenóis quando em ambiente adequado (Bjorkman et al. 2011). Lazzarini et al. (2017) mostram que existe variação muito grande de respostas fisiológicas das plantas à luz azul. Segundo Bonato et al. (2022), no que diz respeito às respostas de microvegetais de rúcula, a luz azul proporcionou maior uniformidade morfológica e crescimento quando comparadas a ausência de luz e a luz verde ou amarela. Cabe ressaltar que os estudos científicos voltados para iluminação aplicada aos microvegetais de rúcula e seus resultados são escassos, sendo que não há estudos sobre o impacto desta sobre a qualidade nutricional da rúcula. Assim e de grande importância estudos que permitam elucidar o melhor sistema de cultivo para este microvegetal que tem grande potencial econômico.

Neste contexto, estudos que permitam elucidar o mecanismo de produtividade, produção de nutrientes e antioxidantes nos tecidos vegetais são de fundamental importância, como a utilização de diferentes intensidades de luz branca ou a suplementação com luz azul, a qual se sabe que apresenta um impacto positivo sobre a síntese de vários metabolitos em outras espécies. Deste modo, o objetivo desta tese foi analisar os efeitos de diferentes intensidades de luz branca e suplementação de luz azul no cultivo *indoor* de microvegetais de rúcula.

3.5 CONCLUSÃO

A aplicação adicional de luz azul afeta negativamente o desenvolvimento das plântulas resultando em decréscimo da produtividade, que foi mais acentuado com o aumento do tempo de exposição e da intensidade luminosa.

A qualidade dos microvegetais de rúcula é influenciada positivamente pela luz azul, verificando-se incremento dos teores de clorofilas, carotenoides, vitamina C, compostos fenólicos e de poder antioxidante de rúcula-microvegetal.

Para o intervalo estudado, a aplicação adicional de luz azul não afeta os teores de potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro e zinco, mas maior tempo de luz azul e menor intensidade favorece aumento de nitrogênio, enquanto fósforo é incrementado por mais tempo e intensidade de luz azul.

3.6 REFERÊNCIAS

- Akbari B, Baghaei-Yazdi N, Bahmaie M, Mahdavi-Abhari F (2022) The role of plant-derived natural antioxidants in reduction of oxidative stress. **BioFactors**, 48:611-633.
- Bantis F, Ouzounis T, Radoglou K (2016) Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success. **Scientia Horticulturae**, 198:277-283.
- Barbosa JC e Maldonado JW (2015) Experimentação agrônômica & AgroEstat: Sistemas para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., 396 p.
- Brazaitytė A, Sakalauskienė S, Samuolienė G, Jankauskienė J, Viršilė A, Novičkovas A, Duchovskis P (2015) The effects of LED illumination spectra and intensity on carotenoid content in Brassicaceae microgreens. **Food chemistry**, 173:600-606.
- Brazaitytė A, Miliauskienė J, Vaštakaitė-Kairienė V, Sutulienė R, Laužikė K, Duchovskis P, Małek S (2021) Effect of different ratios of blue and red led light on brassicaceae microgreens under a controlled environment. **Plants**, 10:801.
- Brunetti C, Guidi L, Sebastiani F, Tattini M (2015) Isoprenoids and phenylpropanoids are key components of the antioxidant defense system of plants facing severe excess light stress. **Environmental and Experimental Botany**, 119:54-62.
- Carvalho SD, Schwieterman ML, Abrahan CE, Colquhoun TA, Folta KM (2016) Light quality dependent changes in morphology, antioxidant capacity, and volatile production in sweet basil (*Ocimum basilicum*). **Frontiers in plant science**, 7:1328.

Clifford T, Constantinou CM, Keane KM, West DJ, Howatson G, Stevenson EJ (2017) The plasma bioavailability of nitrate and betanin from *Beta vulgaris rubra* in humans. **European journal of nutrition**, 56:1245-1254.

Dou H, Niu G, Gu M, Masabni JG (2017). Effects of light quality on growth and phytonutrient accumulation of herbs under controlled environments. **Horticulturae**, 3:36.

Furlani PR, Bolonhezi D, Silveira LCP, Faquin V (1999) Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. Informe Agropecuário, 20:90-98.

Hamdani S, Khan N, Perveen S, Qu M, Jiang J, Govindjee A, Zhu, XG (2019). Changes in the photosynthesis properties and photoprotection capacity in rice (*Oryza sativa*) grown under red, blue, or white light. **Photosynthesis research**, 139:107-121.

Huché-Thélier L, Crespel, L, Gourrierc J, Morel P, Sakr S, Leduc N (2016) Light signaling and plant responses to blue and UV radiations—Perspectives for applications in horticulture. **Environmental and Experimental Botany**, 121:22-38.

Johnson RE, Kong Y, Zheng Y (2020) Elongation growth mediated by blue light varies with light intensities and plant species: A comparison with red light in arugula and mustard seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, 169:103898.

Jones MA (2018). Using light to improve commercial value. **Horticulture Research**, 5.

Kang, WH, Park, JS, Park KS, Son JE (2016) Leaf photosynthetic rate, growth, and morphology of lettuce under different fractions of red, blue, and green light from light-emitting diodes (LEDs). **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, 57:573-579.

Kang, LK, Huang YJ, Lim WT, Hsu PH, Hwang PA (2020) Growth, pigment content, antioxidant activity, and phytoene desaturase gene expression in *Caulerpa lentillifera* grown under different combinations of blue and red light-emitting diodes. *Journal of Applied Phycology*, 32:1971-1982.

Kong Y, Masabni J, Niu G (2023) Effect of Temperature Variation and Blue and Red LEDs on the Elongation of Arugula and Mustard Microgreens. **Horticulturae**, 9:608.

Kopsell DA, & Sams CE (2013) Increases in shoot tissue pigments, glucosinolates, and mineral elements in sprouting broccoli after exposure to short-duration blue light from light emitting diodes. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 138:31-37.

Kopsell DA, Sams CE, Morrow RC (2015) Blue wavelengths from LED lighting increase nutritionally important metabolites in specialty crops. **HortScience**, 50:1285-1288.

Landi M, Zivcak M, Sytar O, Brestic M, Allakhverdiev SI (2020) 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**, 1861:148131.

Larrauri JA, Rupérez P, Saura-Calixto F (1997) Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of agricultural and food chemistry**, 45:1390-1393.

Lazzarini LES, Pacheco FV, Silva ST, Coelho AD, Medeiros APR., Bertolucci SKV, Soares JDR. (2017) Uso de diodos emissores de luz (led) na fisiologia de plantas cultivadas–revisão. **Scientia Agraria Paranaensis**, 16:137-144.

Lichtenthaler HK (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In **Methods in enzymology** . Academic Press 148:350-382)

Liu H, Chen Y, Hu T, Zhang S, Zhang Y, Zhao T, Kang Y, (2016) The influence of light-emitting diodes on the phenolic compounds and antioxidant activities in pea sprouts. **Journal of Functional Foods**, 25:459-465.

Mawphlang OI, Kharshiing EV (2017) Photoreceptor mediated plant growth responses: implications for photoreceptor engineering toward improved performance in crops. **Frontiers in plant science**, 8:1181.

Meneghin E, Volpato A, Cupellini L, Bolzonello L, Jurinovich S, Mascoli V, Collini E (2018) Coherence in carotenoid-to-chlorophyll energy transfer. **Nature Communications**, 9:3160.

Noguchi A, Amaki W (2016, May) Effects of light quality on the growth and essential oil production in Mexican mint. In VIII International Symposium on Light in Horticulture. **Resumos**. Mexico. p 239-244.

Ouzounis T, Fretté X, Ottosen CO, Rosenqvist E (2015) Spectral effects of LEDs on chlorophyll fluorescence and pigmentation in Phalaenopsis ‘Vivien’ and ‘Purple Star’. **Physiologia Plantarum**, 154:314-327.

Pennisi G, Blasioli S, Cellini A, Maia L, Crepaldi A, Braschi I, Gianquinto G (2019) Unraveling the role of red: blue LED lights on resource use efficiency and nutritional properties of indoor grown sweet basil. **Frontiers in plant science**, 10:305.

Pennisi G, Pistillo A, Orsini F, Cellini A, Spinelli F, Nicola S, Marcelis LF (2020). Optimal light intensity for sustainable water and energy use in indoor cultivation of lettuce and basil under red and blue LEDs. **Scientia Horticulturae**, 272, 109508.

Petroutsos D, Tokutsu R, Maruyama S, Flori S, Greiner A, Magneschi L, Minagawa J (2016) A blue-light photoreceptor mediates the feedback regulation of photosynthesis. **Nature**, 537:563-566.

Piovene C, Orsini F, Bosi S, Sanoubar R, Bregola V, Dinelli G, Gianquinto G (2015) Optimal red: blue ratio in led lighting for nutraceutical indoor horticulture. **Scientia Horticulturae**, 193:202-208.

Pocock, T (2017) Influence of light-emitting diodes (LEDs) on light sensing and signaling networks in plants. **Light Emitting Diodes for Agriculture: Smart Lighting**, 37-58.

Ponting JD (1943) Extraction of ascorbic acid from plant materials. Relative suitability of various acids. **Indutst. Eng. Chem. Anal**, 15:389-391.

Prashanth L, Kattapagari KK, Chitturi RT, Baddam VRR, Prasad LK (2015). A review on role of essential trace elements in health and disease. **Journal of dr. ntr university of health sciences**, 4:75-85.

Purquerio, LFV, Moraes CC, Factor, T. L., & Calori, A. H. **Bioeconomia**.

Rasband WS (2011). Imagej, us national institutes of health, bethesda, maryland, usa. Disponível em <<http://imagej.nih.gov/ij/>>. Acesso em 8 jun.2020.

Samuolienė G, Brazaitytė A, Jankauskienė J, Viršilė A, Sirtautas R, Novičkovas A, Duchovskis P (2013) LED irradiance level affects growth and nutritional quality of Brassica microgreens. **Central European Journal of Biology**, 8:1241-1249.

Snowden MC, Cope KR, Bugbee B (2016) Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: Interactions with photon flux. **PLoS One**, 11:e0163121.

Turner ER, Luo Y, Buchanan RL (2020) Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: A review. **Journal of food science**, 85:870-882.

Wang, Q., Liu, Q., Wang, X., Zuo, Z., Oka, Y., & Lin, C. (2018). New insights into the mechanisms of phytochrome–cryptochrome coaction. **New Phytologist**, 217(2), 547-551.

Wang Q, Zuo Z, Wang X, Gu L, Yoshizumi T, Yang Z, Lin C (2016) Photoactivation and inactivation of Arabidopsis cryptochrome 2. **Science**, 354:343-347.

Wieth AR, Pinheiro WD, Duarte TDS (2019) Substratos e concentrações de nutrientes para produção de microgreens de brócolis em sistema hidropônico. **Revista Cultura Agrônômica. Ilha Solteira, SP**. 28: 422-434.

Wilson RL, Kim H, Bakshi A, Binder BM (2014) The ethylene receptors ETHYLENE RESPONSE1 and ETHYLENE RESPONSE2 have contrasting roles in seed germination of Arabidopsis during salt stress. **Plant Physiology**, 165:1353-1366.

Xiao Z, Lester GE, Luo Y, Wang Q (2012) Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. **Journal of agricultural and Food Chemistry**, 60:7644-7651.

Yadav LP, Koley TK, Tripathi A, Singh S (2019) Antioxidant potentiality and mineral content of summer season leafy greens: Comparison at mature and microgreen stages using chemometric. **Agricultural Research**, 8:165-175.

Zivcak M, Brestic M, Kalaji HM, Govindjee (2014) Photosynthetic responses of sun- and shade-grown barley leaves to high light: is the lower PSII connectivity in shade leaves associated with protection against excess of light?. **Photosynthesis research**, 119:339-354.

Zivcak M, Brestic M, Botyanszka L, Chen YE, Allakhverdiev SI (2019) Phenotyping of isogenic chlorophyll-less bread and durum wheat mutant lines in relation to photoprotection and photosynthetic capacity. **Photosynthesis research**, 139:239-251.