INSTITUTO AGRONÔMICO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL

DENSIDADES DE FLUXO DE FÓTONS FOTOSSINTÉTICOS E DE SEMEADURA PARA PRODUÇÃO INDOOR DE MICROVERDES

FELIPE MARQUES DE LIMA

Orientador: Dr. Luis Felipe Villani Purquerio
Co-orientadora: Dra. Simone da Costa Mello

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de **Mestre** em Agricultura Tropical e Subtropical, Área de Concentração em Tecnologia da Produção Agrícola.

Campinas, SP
2022

Ficha elaborada pela bibliotecária do Núcleo de Documentação Científica do Instituto Agronômico

L732d Lima, Felipe Marques de
Densidades de fluxo de fótons fotossintéticos e de semeadura para produção indoor de microverdes / Felipe Marques de Lima. Campinas, 2022. 59 fls

Orientador: Luis Felipe Villani Purquerio
Co-orientadora: Simone da Costa Mell
Dissertação (Mestrado) Agricultura Tropical e Subtropical – Instituto Agronômico

1. Agricultura urbana. 2. Ambiente controlado. 3. Cultivo vertical 4. Fábrica de plantas 5. Iluminação artificial para plantas. I. Purquerio. Luis Felipe Villani I. Mell, Simone da Costa III. Título

CDD 581.134

SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO AGRONÔMICO
Pós-Graduação Agricultura Tropical e Subtropical
Fone: (19) 2137.0659/2137.0601
Avenida Barão de Itapura,
1.48113020-902 - Campinas, SP

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

"

Aos 10 dias do mês de março de 2022, às 8:30 horas reuniu-se a Banca examinadora homologada pelo Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, composta pelos membros abaixo listados visando à defesa de dissertação de mestrado de Felipe Marques de Lima, para obtenção do título de **"MESTRE**", conforme **Processo SAA PRT 028/2020**. A sessão presidida pelo Dr. Luis Felipe Villani Purquerio, orientador do aluno, foi realizada em sessão pública aberta, síncrona, por videoconferência e transmitida via internet no canal do PPG-IAC. A sessão pública foi gravada e permanece em arquivo pelo tempo estabelecido pelo regimento do PPGIAC para os devidos fins de comprovação. Iniciados os trabalhos, o candidato submeteu-se ao exame de sua dissertação, intitulada **"Densidades de fluxo de fótons fotossintéticos e de semeadura para produção *indoor* de microverdes".**

Terminado o exame, procedeu-se ao julgamento, cujo resultado foi o seguinte:

Dr. Luis Felipe Villani Purquerio	**Aprovado (x)**	**Reprovado ( )**
Dr. Alex Humberto Calori	**Aprovado (x)**	**Reprovado ( )**
Dra. Thais Queiroz Zorzeto Cesar	**Aprovado (x)**	**Reprovado ( )**

Apurados os resultados, constatou-se que o candidato foi habilitado, fazendo jus, portanto, ao título de **"MESTRE EM AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL",** na área de concentração; **Tecnologia de Produção Agrícola**, do que, para constar, lavrou-se a presente ata, assinada pelo Presidente da Comissão Examinadora representando os demais membros da sessão remota.

Purquerio

Dr. Luis Felipe Villani Purquerio
Instituto Agronômico Campinas (SP)

rev09/2021 ARC

AGRADECIMENTOS

Ao universo.

Ao Dr. Luis Felipe Villani Purquerio, mais que um orientador, um grande parceiro e amigo, obrigado pelo incentivo, oportunidades e pela contribuição na minha formação profissional ao longo desses anos de parceria. Início de muitos que viram, repletos de experimentos, ciência e desafios, para que juntos possamos contribuir com a evolução da agricultura urbana e *indoor*.

À Pós-Graduação do Instituto Agronômico pela oportunidade de realização do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

À minha esposa Alessandra, responsável por meu ingresso na Engenharia Agronômica, sempre ao meu lado com dedicação e paciência, companheira a qual nutro profunda admiração e amor.

Aos meus pais, Pedro Luis Alves de Lima e Maria de Fátima de Souza Marques, pelo amor, apoio e incentivo nessa jornada.

Aos meus amigos do Centro de Horticultura, Renan Nascimento Pires e Matheus Kainan de Paula Manjavachi.

À Dra. Thais Queiroz Zorzeto César e Vitor Gonçalves da Silva, por tornaram possível a execução das análises físico-químicas.

Aos pesquisadores Dr. Fernando Cesar Sala e Dra. Simone da Costa Mello pelo auxílio, amizade, e por sempre compartilharem seus conhecimentos.

Aos pesquisadores e professores da PG – IAC, pela atenção e contribuição nesta etapa da minha formação.

À empresa Leds-up pelo fornecimento das luminárias, a Agristar do Brasil pelas sementes a Amafibra pela fibra de coco e a JKS pelas bandejas.

Aos meus familiares, amigos e a todos que de alguma forma contribuíram para esta conquista.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS vi
LISTA DE FIGURAS viii
RESUMO ix
ABSTRACT x
1 INTRODUÇÃO GERAL 1
2 REVISÃO DE LITERATURA 3
2.1 Microverdes: definição, benefícios e sistema de produção 3
2.3 Iluminação com LED e densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) 7
2.4 Densidade de semeadura 12
3 REFERÊNCIAS 14
CAPÍTULO 1 20
Resumo 21
Abstract 22
Introdução 23
Material e Métodos 24
Estrutura de cultivo 24
Tratamentos e delineamento experimental 26
Condução dos experimentos 26
Características avaliadas 27
Análise estatística 28
Resultados e discussão 28
Variação do custo de produção em função dos tratamentos 42
Conclusões 44
Referências 44
4 CONSIDERAÇÕES GERAIS 48
ANEXOS 50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diferentes configurações de iluminação artificial e o efeito no crescimento, desenvolvimento, pigmentos e compostos secundários de espécies no estádio de microverde. 10

Tabela 2 - Densidades de semeadura utilizadas por diferentes autores para produção de microverdes de diferentes espécies. 13

Tabela 3 - Massa fresca (MF) e seca (MS), conversão (MF/MSE), comprimento do hipocótilo (CH), comprimento transversal (CT) e comprimento longitudinal (CL) do cotilédone, em função da densidade de semeadura, para microverde de quatro espécies, cultivados em sistema vertical *indoor*. 35

Tabela 4 - Clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), antocianinas (AN), carotenoides (CA), pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), em função da densidade de semeadura, para microverdes cultivados *indoor*. 39

Tabela 5 - Correlação dos componentes principais (escores), divididos em componente principal 1 e 2 (cp1 e cp2) em função das avaliações: massa fresca (MF) e seca (MS); conversão da massa semeada em massa fresca (MF/MSE); altura do dossel (AD), comprimento do hipocótilo (CH); comprimento transversal (CT) e longitudinal (CL) do cotilédone; pH; sólidos solúveis (SS); acidez titulável (AT); clorofila a (CL*a*) e clorofila b (CL*b*); antocianina (AN) e carotenoides (CA). .. 40

Tabela 6 - Experimento com girassol. Resultados da análise de variância para massa fresca (MF), massa seca (MS), conversão da massa semeada em massa fresca (MF/MSE), altura do dossel (AD), comprimento do hipocótilo (CH), comprimento transversal do cotilédone (CT) e comprimento longitudinal do cotilédone (CL), em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e densidade de semeadura 1275; 1700 e 2175 g m^{-2} 50

Tabela 7 - Experimento com girassol. Resultados da análise de variância para os teores de clorofila a (CL a), clorofila b (Cl b), antocianina (An), carotenoides (Ca), sólidos solúveis (Ss) e acidez titulável (At), em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e da densidade de semeadura 1275; 1700 e 2175 g m^{-2}**.** 51

Tabela 8 - Experimento com rabanete. Resultados da análise de variância para massa fresca (MF), massa seca (MS), conversão da massa semeada em assa fresca (MF/MSE), altura do dossel (AD), comprimento do hipocótilo (CH), comprimento transversal do cotilédone (CT) e comprimento longitudinal do cotilédone (CL), em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e densidade de semeadura 272; 340 e 408 g m^{-2} 52

Tabela 9 - Experimento com rabanete. Resultados da análise de variância para os teores de clorofila a (CL a), clorofila b (Cl b), antocianina (An), carotenoides (Ca), sólidos solúveis (Ss) e acidez titulável (At), em função da densidade do fluxo de fótons

fotossintéticos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e da densidade de semeadura 272; 340 e 408 g m^{-2}.....53

Tabela 10 - Experimento com repolho-verde. Resultados da análise de variância para massa fresca (MF), massa seca (MS), conversão da massa semeada em massa fresca (MF/MSE), altura do dossel (AD), comprimento do hipocótilo (CH), comprimento transversal do cotilédone (CT) e comprimento longitudinal do cotilédone (CL), em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e densidade de semeadura 125; 180 e 235 g m^{-2}. 54

Tabela 11 - Experimento com repolho-verde. Resultados da análise de variância para os teores de clorofila a (CL a), clorofila b (Cl b), antocianina (An), carotenoides (Ca), sólidos solúveis (Ss) e acidez titulável (At), em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e da densidade de semeadura 125; 180 e 235 g m^{-2}.....55

Tabela 12 -. Experimento com repolho-roxo. Resultados da análise de variância para massa fresca (MF), massa seca (MS), conversão da massa semeada em massa fresca (MF/MSE), altura do dossel (AD), comprimento do hipocótilo (CH), comprimento transversal do cotilédone (CT) e comprimento longitudinal do cotilédone (CL), em função da densidade do fluxo de fótons fotossintétcos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e densidade de semeadura 125; 180 e 235 g m^{-2}. 56

Tabela 13 - Experimento com repolho-roxo. Resultados da análise de variância para os teores de clorofila a (CL a), clorofila b (Cl b), antocianina (An), carotenoides (Ca), sólidos solúveis (Ss) e acidez titulável (At), em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e da densidade de semeadura 125; 180 e 225 g m^{-2}.....57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Desenvolvimento da plântula na germinação no dia 1, passando pelos estádios de brotos (*sprout*) no dia 5, até o estádio de microverde (*microgreen*) nos dias 9 a 14, planta dicotiledônea (A). Fonte: Riggio et al. (2019). Desenvolvimento de plântulas de repolho-roxo em fibra de coco, com 4 dias (B) e 10 dias (C) após a semeadura. Fonte: Autor. 3

Figura 2 - Dimensões da estante de cultivo (A) e divisão dos blocos nas estantes (B). 25

Figura 3 - Distribuição da intensidade da luminária LED (Leds-up, modelo GLP-v.11.7.1-21) (A) e composição do espectro (B).....25

Figura 4 - Temperaturas médias do ar da sala e do interior das câmaras de cultivo, nos tratamentos de DFFF, para quatro experimentos de cultivo de microverde, em estante equipada com LED.....29

Figura 5 - Comprimento transversal (A) e longitudinal (B) do cotilédone de microverdes de rabanete e conversão da massa semeada em massa fresca (C) de microverde de repolho-verde em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) e densidades de semeadura. * e ** significâncias da regressão em $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente.....30

Figura 6 - Comprimento do transversal (CT) e longitudinal (CL) do cotilédone em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) para o microverde de girassol (A e B) e rabanete (C). * e ** significâncias da regressão em $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente.....31

Figura 7 - Massa fresca (A) e seca (B) em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) para o microverde de repolho-verde. * significâncias da regressão em $p < 0,05$ respectivamente.....32

Figura 10 - Gráficos biplot de escores e pesos (loadings) para os dois primeiras componentes principal (PCA1 e PCA2), em função de quatro tratamentos de DFFF e três densidades de semeadura, para quatro espécies de microverde. 41

Figura 11 - Custo em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) e de semeadura (g m^{-2}), para girassol (1275 D1, 1700 D2, 2125 D3), repolho-verde e roxo (126 D1, 180 D2, 235 D3) e rabanete (272 D1, 340 D2, 408 D3). Cotação por kg da semente R$ 15,00 – girassol; R$ 200,00 – rabanete; R$ 300,00 – Repolho-verde e R$ 380,00 repolho-roxo. Tarifa energia elétrica R$ 0,52 Kwh, cotação de 02/02/2022.....43

Densidades de fluxo de fótons fotossintéticos e de semeadura para produção *indoor* de microverdes

RESUMO

Não existe consenso na literatura a respeito da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) ótima para produção de microverdes, relatado efeitos na produtividade e qualidade entre a faixa de 42 a 545 μmol m^{-2} s^{-1}. Além da DFFF, para a densidade de semeadura (DS) ainda existem dúvidas da quantidade ideal, a qual varia de acordo com espécie. O presente estudo objetivou determinar a melhor DFFF (50, 100, 150, 200 μmol m^{-2} s^{-1}) e DS para girassol (1275, 1700 e 2125 g m^{-2}), rabanete (272, 340 e 408 g m^{-2}), repolho-verde e roxo (126, 180 e 234 g m^{-2}), cultivados em sistema de cultivo vertical e *indoor*. Foram efetuados experimentos independentes para cada espécie, em parcelas subdivididas, com 3 repetições e blocos casualizados. O aumento da DFFF não afetou a produtividade e qualidade dos microverdes de girassol, rabanete e repolho-roxo, indicando que 50 μmol m^{-2} s^{-1} foi o melhor resultado, já para o repolho-verde com 158 μmol m^{-2} s^{-1} houve aumento de 11% na produtividade. O aumento da DS ocasionou incremento na produtividade do girassol de 20% e repolho-roxo 32% até as DS de 1700 e 180 g m^{-2}, para o rabanete houve incremento de 47% e para o repolho-verde de 51% até a maior densidade de semeadura (408 e 235 g m^{-2}). Houve redução dos teores de pigmentos com o aumento da DS para todas as espécies, exceto para repolho-roxo em relação aos teores de antocianina.

Palavras-chave: agricultura urbana, ambiente controlado, cultivo vertical, fábrica de plantas, iluminação artificial para plantas.

Photosynthetic photon flux densities and seeding density for indoor microgreens production

ABSTRACT

There is no consensus in the literature regarding the optimal photosynthetic photon flux density (PPFD) for microgreens production, reporting effects on productivity and quality range between 42 to 545µmol m^{-2} $s^{-1.}$ In addition to the PPFD, there are still doubts about the ideal amount of seeding density (SD), which varies according to the species. The present study aimed to determine the best PPFD (50, 100, 150, 200 µmol m^{-2} s^{-1}) and SD for sunflower (1275, 1700 and 2125 g m^{-2}), radish (272, 340 and 408 g m^{-2}), green and red cabbage (126, 180 and 234 g m^{-2}), grown indoors. Independent experiments were carried out for each species, in split plots, with 3 replications and randomized blocks. The increase in PPFD did not affect the productivity and quality of sunflower, radish and red cabbage microgreens, indicating that 50 µmol m^{-2} s^{-1} was the best result, whereas for green cabbage at 158 µmol m^{-2} s^{-1} there was an 11% increase in productivity. The increase in SD caused an increase in sunflower productivity of 20% and red cabbage 32% until the SD of 1700 and 180 g m^{-2}. Until the highest sowing density (408 and 235 g m^{-2}), radish had a 47% increase and green cabbage 51%. There was a reduction in pigment levels with increasing DS for all species, except for red cabbage in relation to anthocyanin levels.

Keywords: artificial lighting for plants, controlled environment, plant factory, urban agriculture, vertical farming.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo comercial de microverdes tem menos de 5 anos no Brasil, com potencial de crescimento no mercado por suas características estéticas, nutricionais, ciclo rápido e agregação de valor. O produto microverde vem ganhando atenção dos consumidores, dos produtores e da indústria.

Microverdes são plântulas colhidas com idade entre 6 e 25 dias após a semeadura, dependendo da espécie, com cotilédones totalmente expandidos, com o primeiro par de folhas verdadeiras ausentes, ou pouco desenvolvidas, colhidos acima do sistema radicular. Podem ser de variadas espécies, tendo destaque as pertencentes a família botânica *Brassicaceae*. Ainda ocupam pequeno espaço no mercado, porém, com grande potencial para crescimento. A ampla diversidade de sabores, cores, formatos e texturas diferem por completo de suas contrapartes em estádio estabelecido comercialmente, por exemplo a comparação entre o microverde de rabanete e sua raiz tuberosa, ambos produtos da mesma espécie, porém com clara distinção. Além do aspecto visual, microverdes concentram maiores teores de nutrientes, antioxidantes e compostos bioativos, que sua contraparte convencional; portanto, seu consumo oferece benefícios para a saúde sendo considerado um alimento funcional.

A produção de microverdes pode ser realizada em ambientes com diferentes complexidades tecnológicas, seja domiciliar, estufa agrícola ou ambiente totalmente controlado com a utilização de iluminação artificial (*indoor*).

Quando se objetiva produzir microverdes em ambiente *indoor*, se faz necessário o manejo da iluminação artificial. Estudos têm demostrado que o manejo da intensidade (μ mol m^{-2} s^{-1}) exerce efeito na produtividade e qualidade dos microverdes, além de impactar a viabilidade econômica do sistema produtivo. Em virtude da tecnologia ser nova, estudos são necessários para entendimento do efeito do manejo da iluminação sobre a produtividade, qualidade e viabilidade do sistema de produção. Portanto, pesquisas que avaliem o efeito das distintas densidades do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) se faz necessária para o aprimoramento do cultivo de microverdes *indoor*.

Além dos parâmetros que compõe a iluminação artificial e seu manejo, para que se obtenha microverdes se faz necessário o uso de grande quantidade de sementes, maior que em qualquer outra técnica de cultivo. Existindo a necessidade do estabelecimento de dossel denso, característica intrínseca ao cultivo de microverde. No entanto, o aumento da densidade de semeadura (DS) tem um limite, pois após ele ser realizado, a competição entre as plântulas pode

ter efeito negativo sobre a produtividade e qualidade. Sendo necessário respaldo científico a respeito de quais DS utilizar para esse cultivo, com a utilização de sementes disponíveis nacionalmente.

Portanto foi testada a hipótese de que o aumento da DFFF e DS aumentam a produtividade e a qualidade dos microverdes. O objetivo da presente pesquisa foi avaliar o efeito na produtividade e qualidade de microverde em quatro tratamentos de densidade do fluxo de fótons fotossintéticos, fornecidos por lâmpadas LED a 50, 100, 150, 200 µ mol m^{-2} s^{-1} e três densidades de semeadura, para quatro espécies, girassol 1.275, 1.700 e 2.125 g m^{-2}, rabanete 250, 322 e 422 g m^{-2} e 126, 180 e 235 g m^{-2} para repolho-verde e repolho-roxo produzidos em cultivo vertical *indoor*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Microverdes: definição, benefícios e sistema de produção

Microverdes, brotos e *baby leaf* são produtos consumidos em estádio prematuro de desenvolvimento, porém com suas distinções (Renna et al. 2016, Treadwell et al. 2020). Segundo Di Gioia et al. (2015), brotos possuem ciclo de crescimento de 4-10 dias e são colhidos antes do completo desenvolvimento dos cotilédones. Já os microverdes, com ciclo de 7-28 dias são colhidos entre o completo desenvolvimento dos cotilédones e surgimento da primeira folha verdadeira, na média possuem altura de 3 - 9 cm (Di Gioia et al. 2017, Bhatt e Sharma, 2018) (Figura 1). *Baby leaf* tem ciclo de 20-50 dias, são colhidas no estádio de oito folhas verdadeiras com o completo ou parcial desenvolvimento da primeira folha (Purquerio et al. 2016).

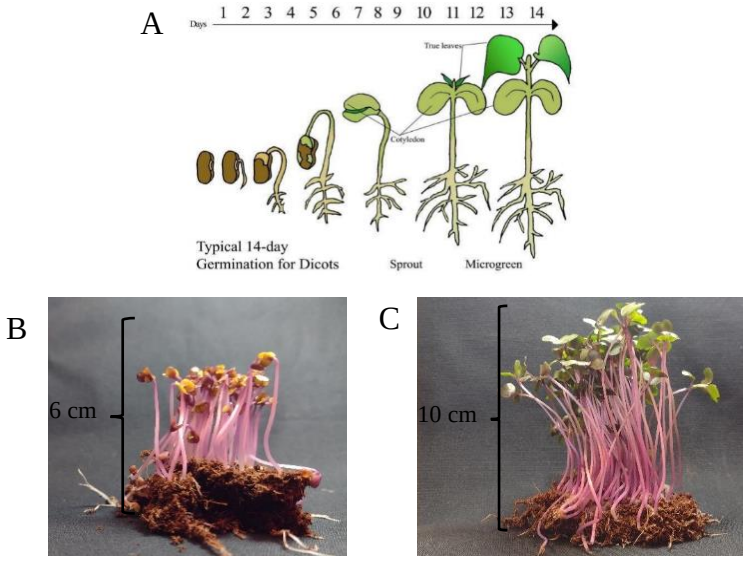


Figura 1- Desenvolvimento da plântula na germinação no dia 1, passando pelos estádios de brotos (*sprout*) no dia 5, até o estádio de microverde (*microgreen*) nos dias 9 a 14, planta dicotiledônea (A). Fonte: Riggio et al. (2019). Desenvolvimento de plântulas de repolho-roxo em fibra de coco, com 4 dias (B) e 10 dias (C) após a semeadura. Fonte: Autor.

Diferindo do *baby leaf*, no qual se consomem as folhas verdadeiras, comercializadas após a colheita (Purquerio et al. 2016), os microverdes podem ser comercializados antes da colheita, ou seja, ainda vivos no meio de cultivo, possibilitando que o próprio consumidor efetue a colheita (Di Gioia et al. 2015, Renna et al. 2016).

Existem importantes distinções entre microverdes e brotos no processo de produção (Di Gioia e Santamaria 2015, Di Gioia et al. 2017). Brotos são produzidos na ausência de luz e seu sistema radicular é consumido junto ao produto; já os microverdes são produzidos na presença de luz e deles não se consome a raiz, apenas a parte aérea assim como os *baby leaf* (Riggio et al. 2019). A técnica de produção de microverdes foi desenvolvida, inicialmente, para atender a necessidade de chefes de cozinha, em meados da década de oitenta (Bliss 2014, Kyriacou et al. 2016). Disponível inicialmente nos cardápios de chefes da cidade de San Francisco (Estado Unidos da América), e após a segunda metade da década de 90 se espalhou para todo o sul da Califórnia (Di Gioia et al. 2017).

O uso dos microverdes é indicado para o preparo de pratos como saladas, sopas, lanches, massas e bebidas como coquetéis, *drinks* e suco verde, como decoração comestível para embelezar ou como novo ingrediente para ampla variedade de receitas (Xiao et al. 2012, Renna et al. 2016). Também são conhecidos internacionalmente por *vegetable confetti* (Treadwell et al. 2020) ou então *microherbs* no caso de espécies aromáticas (Di Gioia et al. 2015).

As espécies utilizadas para produção dos microverdes pertencem a famílias botânicas, como *Brassicaceae, Asteraceae, Apiaceae, Amarantácea, Cucurbitáceas* e *Fabaceae* (Xiao et al. 2012, Di Gioia et al. 2015). A família das *Brassicaceae* é popular para o cultivo de microverdes, pois tem germinação rápida, ciclo de crescimento curto, varia entre espécies tanto em coloração, sabor e formato além de possuir elevadas concentrações de compostos benéficos à saúde humana (Xiao et al. 2012). Dentre elas, destacam-se rabanete, repolho-roxo e verde.

Geralmente, a aparência dos produtos frescos é a característica inicial que impacta a decisão de compra (Xiao et al. 2015), sendo que a coloração dos microverdes é diretamente afetada pelo conteúdo de seus pigmentos. A clorofila, responsável pela coloração verde tem papel principal na fotossíntese, serve como precursor do tocoferol, conhecida como vitamina E, composto antioxidante promotor de benefícios à saúde humana (Samuoliene et al. 2017).

Em comparação com sua contraparte estabelecida comercialmente, microverdes apresentam teores superiores de fito-químicos, minerais e vitaminas (Xiao et al. 2012), ácido ascórbico, β-caroteno, α- tocoferol, filoquinona e minerais (Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Se e Mo), e menor teor de nitrato (Pinto et al. 2015).

Esse fato impulsionou a pesquisa de Xiao et al. (2012), que avaliou o teor de vitaminas e carotenoides em 25 espécies, com resultados para repolho-roxo, que apresentou 40 vezes mais vitamina E, seis vezes mais vitamina C, 260 vezes mais β-caroteno e 28 vezes maior concentração de luteína/zeaxantina do que as folhas na sua contraparte comercialmente estabelecida. Ainda segundo os mesmos autores, um adulto de peso mediano, consumindo

41 g de microverdes de repolho-roxo e 15 g de rabanete, supre sua necessidade diária de vitamina C e E, respectivamente.

A antocianina é considerada anti-inflamatório e antioxidante com benefícios no combate a doenças (Speer et al. 2020). Tem papel na coloração dos microverdes, com destaque para os tons de vermelho, rosa, púrpura e azul. Existem diferentes formas estruturais de antocianina, sendo que mais de 30 formas foram encontradas em diferentes espécies de microverdes de *Brassica* (repolho-roxo, mostarda e couve-rábano-roxo) (Sun et al. 2013).

O microverde de repolho-roxo tem sido identificado como regulador dos níveis de colesterol. Huang et al. (2016) em experimentos com fornecimento de dieta pobre e rica em gordura para cobaias, com adição ou não de microverdes na dieta, observaram que a introdução atenuou o ganho de peso, inibindo também enzimas que sintetizam os triglicerídeos.

Além de compostos secundários (antioxidantes), o microverde pode ser fonte proteica. Ghoora et al. (2020) efetuaram estudos a fim de ranquear dez espécies de microverdes quanto ao seu valor nutricional. Dentre os aspectos analisados, o teor de proteína presente no funcho (4,4 g 100 g^{-1}) e no girassol (3,9 g 100 g^{-1}) foram superiores às oito espécies avaliadas, segundo os mesmos autores a espécie que liderou a lista geral de atributos foi o rabanete. Microverdes são, portanto, classificados como alimento funcional (Xiao et al. 2012, Pinto et al. 2015, Kyriacou et al. 2016, Choe et al. 2018, Teng et al. 2021).

As técnicas para obtenção dos microverdes são de baixo impacto ambiental, considerado, portanto, um produto sustentável com relativa simplicidade de cultivo (Choe et al. 2018). Os sistemas de produção com utilização de bandejas plásticas, e substrato com irrigação por capilaridade são os mais encontrados na pesquisa e na produção comercial, pela boa produtividade e facilidade de manejo.

O cultivo de microverdes pode ser feito com ou sem substratos, inertes ou férteis. Por exemplo a areia, turfa, casca de arroz carbonizado, perlita, vermiculita, fibra de coco e misturas, considerados eficazes para o cultivo (Lee et al. 2004, Muchjijab et al. 2015, Lobiuc et al. 2017). Além dos substratos de origem mineral e orgânica, existem materiais de origem sintética, como os elaborados a partir de PET (tereftalato de polietileno) (Di Gioia et al. 2015, Xiao 2015).

Não apenas o tipo de substrato utilizado, mas a espessura da camada, afetam a produtividade (Allred e Mattson 2018). Para a escolha do substrato adequado, aspectos como a facilidade de aquisição, custo, e a necessidade de que este não esteja contaminado com patógenos de plantas e humanos, devem ser levados em consideração (Di Gioia et al. 2016, Riggio et al. 2019, Verlinden 2020).

Em relação à adubação, o microverde pode ser cultivado com êxito sem necessariamente recebê-la. No entanto, estudos demostram aumento de produtividade quando se faz o uso de solução nutritiva. Experimento de Murphy e Pill (2010), com adubação pré-plantio de nitrato de cálcio e a aplicação pós-plantio demostrou aumento de produtividade em 20% para microverde de rúcula, assim como a adubação com ureia e nitrato de amônia influenciaram positivamente a produtividade.

Além de impactos na produtividade, Sun et al. (2015) observaram efeito na qualidade de microverde de brócolis, quando adubado com cloreto de cálcio, em comparação a não adubação. Os teores de glucosinolatos foram maiores, sugerindo o potencial do manejo da adubação em enriquecer o valor nutricional das plântulas. Wieth et al. (2019) concluíram que a solução nutritiva de condutividade elétrica de 2 dS m^{-1} é recomendada para obtenção de maior produtividade, impactando também na redução em dois dias do ciclo de cultivo de microverdes de rúcula.

O cultivo de microverde pode ser realizado em ambientes de diferentes graus tecnológicos, com impacto direto no capital investido. Para o cultivo destas plântulas ainda não existe um método estabelecido, podendo ser realizado de diversos modos e em diferentes ambientes (Ciuta et al. 2021).

De maneira geral, os fatores ambientais (temperatura, umidade, iluminação e adubação), quando controlados, garantem maior previsibilidade de colheita e uniformidade do produto ao longo do ano. Em relação a duração do ciclo de cultivo, o fator temperatura o reduz em 35 a 40 % quando se eleva a temperatura de 14 °C para 22 °C (Allred e Mattson 2018). Em ambientes controlados, diferentes autores trabalham com temperaturas que variam de 17 °C a 21 °C e umidade relativa do ar entre 60 e 90% (Gerovac et al. 2016; Jones-Baumgardt et al. 2019; Samuoliene et al. 2019; Ciuta et al. 2020; Ghoora et al. 2020; Jones-Baumgardt et al. 2020; Ying et al. 2020).

Os sistemas de cultivo encontrados na literatura diferem em relação à disposição da estrutura, em horizontal e vertical. No cultivo horizontal, utiliza-se apenas um plano com iluminação natural ou suplementação; já o vertical, consiste na utilização de andares e faz-se indispensável o uso da iluminação artificial, aumentando neste caso o aproveitamento da área devido à verticalização (Kopsell et al. 2012, Al-Chalabi 2015, Touliatos et al. 2016, Di Gioia et al. 2017, Benke e Tomkins 2018).

O conceito de verticalizar o cultivo aliado a iluminação artificial traz consigo grandes benefícios, como aumento de produtividade e qualidade, a redução dos efeitos adversos do

clima sobre a cultura, a geração de novas vagas de emprego e a possibilidade de aproximar a produção dos consumidores, integrando-a aos espaços urbanos (Besthorn 2013).

Dois sistemas de cultivo de microverde foram comparados por Ciuta et al. (2020), sendo eles horizontal em estufa agrícola e vertical em ambiente *indoor*. Seus resultados demostraram a aptidão do microverde para o cultivo vertical, devido às suas características (ciclo, altura e produtividade) com benefícios operacionais e produtivos devido à verticalização.

A utilização da iluminação artificial é recente (1940), quando se trata da história do homem e o cultivo de plantas, que se iniciou há dez mil anos. O controle da iluminação é disruptivo, e amplia as possibilidades da agricultura contemporânea (Pattison et al. 2018).

A relação entre a quantidade de fótons, que um vegetal necessita para fixar carbono e minerais e o valor atribuído a sua massa seca tem impacto direto na viabilidade econômica da cultura cultivada *indoor*. Neste caso, vegetal que contêm maior conteúdo de água é favorecido, pois o valor do produto convertido em massa seca é alto. Exemplo disso são os microverdes e as folhosas que tem 95 a 98% de sua massa de água, e, portanto, permitem elevada agregação de valor em sua massa seca.

2.3 Iluminação com LED e densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF)

O cultivo *indoor* é definido pela utilização de luminárias como substitutas à radiação solar. A radiação emitida pelas luminárias é caracterizada pela densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF), quantificada em $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ (Pattison et al. 2018).

O uso dos diodos emissores de luz denominados internacionalmente pela sigla LED, marcaram grande avanço na iluminação para crescimento de plantas. Comparado com fontes convencionais (lâmpadas incandescentes, fluorescentes e vapor de sódio), o LED apresenta vantagens como a possibilidade de escolha da composição espectral, ajuste da DFFF, pequeno peso e tamanho, longa vida útil, superfície de emissão fria e baixo consumo de energia (Bourget 2008, Massa et al. 2008, Morrow 2008).

Em estudo com iluminação artificial, Pattisson et al. (2018) verificaram a viabilidade econômica do cultivo *indoor* em função da necessidade de fótons por massa seca produzida. O cultivo de culturas de ciclo rápido como microverde, é viável, em detrimento de culturas de ciclo longo, devido ao valor comercial atribuído à sua massa seca e à quantidade necessária de fótons para obtê-la.

Diversos estudos vêm sendo conduzidos no centro espacial Kennedy da NASA, a fim de desenvolver e avaliar LEDs como fonte única de luz para plantas cultivadas no espaço, como

estratégias para colonização de Marte (Massa et al. 2008, Yeh e Chung 2009). No Brasil, a iluminação por LED é utilizada para o cultivo in vitro de plantas (Oliveira et al. 2011), atualmente utilizada por poucas empresas para o cultivo comercial de hortaliças.

Diferentes culturas têm sido cultivadas em ambiente controlado ao redor do mundo. Porém, destaca-se a utilização de tais ambientes para a obtenção de microverdes com êxito (Di Gioia et al. 2017, Samuoliene et al. 2019 e 2016, Verlinden 2020, Ciuta 2020, Teng et al. 2021).

Segundo Morrow (2008) o consumo energético do LED é positivo no aspecto ambiental, pois obtém-se até 80% de redução no consumo de energia elétrica, por essa tecnologia se comparada às demais, a eficiência segue alcançando novos patamares e as luminárias menores custos. Mesmo depois de 50.000 horas de operação, a luminária LED mantém 70% da sua DFFF original. Não contém mercúrio, e superfícies de vidro, que podem provocar contaminação e ferimentos em caso de acidente.

As luminárias LED podem ser colocadas próximas à planta, pois emitem baixo calor radiante, possibilitando assim o aumento do aproveitamento da radiação emitida e o seu ajuste, conforme a aproximação ou distanciamento do LED (emissor) da planta (receptora) (Massa et al. 2008, Yeh e Chung 2009, Pattison et al. 2018).

Dentre os aspectos estudados, no que tange à iluminação artificial, está sua qualidade e intensidade, interpretados em comprimentos de onda (composição espectral) e DFFF respectivamente, com seus consequentes efeitos na produtividade e qualidade dos microverdes, bem como no custo de instalação e no consumo energético do sistema de produção (Kopsell et al. 2012, Samuoliene et al. 2012, Samuouliene et al. 2013, Brazaityte et al. 2015a e 2015b, Vaštakaitė et al. 2015, Brazaityte et al. 2015, Kopsell et al. 2015, Craver et al. 2017, Lobiuc et al. 2017, Vaštakaite et al. 2017, Kong et al. 2019, Brazaityte et al. 2019, Kong e Zheng 2020).

O grande número de espécies estudadas, junto à ampla diversidade tanto em relação a DFFF como qualidade da iluminação e suas diferentes combinações, tornam difícil a obtenção de uma conclusão uniformizada a respeito do tema (Verlinden 2020). Além disso, a literatura apresenta resultados conflitantes. No entanto, estudos indicam efeitos sobre a produtividade, concentração de pigmentos e compostos bioativos nos microverdes submetidos a diferentes condições de DFFF bem como o efeito na morfologia da plântula.

O emprego de valores de DFFF que extrapolam o ideal resultam em decréscimo da produtividade, assim como nos teores de antioxidantes (Virsile e Sirtautas 2013; Samuoliene et al. 2013). Valores de DFFF entre 330 e 440 µmol m^{-2} s^{-1} foram sugeridos como ideais para o cultivo de microverdes da família *Brassicaceae*. Segundo Samuoliene et al. (2013), DFFF de 110 µmol m^{-2} s^{-1} inibiram o crescimento e reduziram os teores de compostos que compõem o

valor nutricional, enquanto DFFF de 545 µmol m^{-2} s^{-1} induziu estresse foto-oxidativo (Samuoliene et al. 2013). Microverde de mostarda apresentou maior concentração de carotenoides em 110 µmol m^{-2} s^{-1} do que em 220, 330, 440 e 545 µmol m^{-2} s^{-1} (Brazaityte et al. 2015).

Em comparação entre iluminação com LED, lâmpadas fluorescentes e incandescentes, na mesma DFFF, o tratamento com LED resultou em maior produtividade de microverdes de brócolis (Kopsell et al. 2014). Microverdes cultivados em DFFF de 105 a 315 µmol m^{-2} s^{-1}, com iluminação integral (DFFF total recebida pela cultura ao longo de todo o ciclo) aumentando de 6 para 18 mol m^{-2}, apresentaram aumento da massa seca, com pouca variação na massa fresca (Craver et al. 2017). Na comparação entre LED e lâmpadas de vapor de sódio, não foram identificadas diferenças na área foliar, porém o comprimento do hipocótilo e a altura do dossel foram afetados, sendo menores no tratamento LED, ambos com mesmo DFFF (Vaštakaite e Virsile 2015).

Microverdes de mostarda e couve-mizuna, tiveram teores de carotenoides reduzidos quando a DFFF aumentou de 105 para 315 µmol m^{-2} s^{-1}, enquanto couve-rábano apresentou aumento na concentração de antocianina (Craver et al. 2017). Aumentos da DFFF apareceram elevar a concentração de clorofila (Gerovac et al. 2016). Portanto a composição química do microverde é modificada pelo manejo da iluminação, fator ambiental que impacta seu valor nutricional e características organolépticas (Tabela 1).

Comparando o teor de nutrientes entre microverde de chia cultivado na ausência de iluminação com a iluminação a 100 µmol m^{-2} s^{-1}, observou-se aumento nos teores de carotenoides, clorofila e ácido ascórbico no tratamento com iluminação (Mlinarić et al. 2020). Resultados obtidos por Kopsell et al. (2012) levaram à conclusão de que aplicações de curta duração de elevada DFFF (463 µmol m^{-2} s^{-1}) resultam em alteração bioquímica no funcionamento do ciclo da xantofila, resultando no aumento significativo (133%) de zeaxantina, e diminuição no teor de clorofila (*a* e *b*), β - caroteno e neoxantina, o que indicou a incidência de estresse, o conteúdo de luteína permaneceu inalterado. Lobiuc et al. (2017) em cultivo de microverde de manjericão-roxo e verde, sob luz branca, vermelha e azul, em diferentes proporções, com DFFF de 120 µmol m^{-2} s^{-1}, concluíram que elevada relação de azul/vermelho resulta em ganho de produtividade, sendo que a resposta em termos de compostos fenólicos e flavonoides diferiu em relação ao tipo de manjericão.

Tabela 1 - Diferentes configurações de iluminação artificial e o efeito no crescimento, desenvolvimento, pigmentos e compostos secundários de espécies no estádio de microverde.

R*	Espécie	Fp h	DFFF μmol m^{-2} s^{-1} e TA	Resposta
1	Espinafre e Amaranto	11,5	40. TA: V, A, VE, AM, B.	Maior altura para o espinafre na luz A, na AM para o amaranto.
2	Couve-Rabano, Mostarda e Mizuna	16	104, 208 e 312.	Menor teor de carotenoides, em 208 e 312 μmol m^{-2} s^{-1}, que em 104 μmol m^{-2} d^{-1} para Mizuna e Mostarda. Maior concentração de antocianina nas maiores DFFF para Couve-Rabano.
3	Couve-Rabano-roxo, Mostarda e Couve-Mizuna	16	104, 208 e 312.	Queda no comprimento do hipocótilo e aumento na massa de matéria seca, com o aumento da DFFF para todas as espécies. Teores de macro e micronutrientes, variaram de acordo com a espécie, nos diferentes DFFF.
4	Mostarda e Beterraba	16	300. TA: 0, 8, 16, 25 e 33% de radiação azul (445 nm).	A exposição ao azul entre (16 a 33%), resultou em maiores concentrações de clorofila e carotenoides. Tocoferol foi observado em maior concentração com 16%. Resposta das espécies a adição do comprimento de onda azul.
5	Couve-Tatsoi e Pak-Choi vermelho e Mostarda	16	110, 220, 330, 440 e 545.	Para Couve-Tatsoi e Pak-Choi-vermelho em 330 e 440 μmol m^{-2} s^{-1} observou-se aumento da concentração de carotenoides, já mostarda em 110 e 220 μmol m^{-2} s^{-1}.
6	Couve-Pak-Choi Vermelho, Couve-Tatsoi e Manjericão-Genovês	16	302,5. TA: 0, 8, 16, 25 e 33% de radiação azul.	Adição de 16 a 33% de azul, resultou em encurtamento do hipocótilo, e altura do dossel para todas as espécies, e aumento concentração de antocianina para Couve-Tatsoi e Manjericão.
7	Couve-Rábano-roxo, Mostarda, Couve-Pak-Choi-roxa e Couve-Tatsoi	16	110, 220, 330, 440 e 545.	DFFF de 110 a 220 μmol m^{-2} s^{-1} gerou maior comprimento do hipocótilo, menor área foliar e MS. 545 μ mol m^{-2} s^{-1} reduziu nitrato e aumentou sucrose. Aumento da DFFF eleva o conteúdo de clorofila e carotenoides.
8	Borage	16	110, 220, 330, 440 e 545.	Aumento de produtividade e queda no CH, observado conforme o aumento da DFFF de 110 para 440 μmol m^{-2} s^{-1}. Com 545 μmol m^{-2} s^{-1} houve queda de produtividade, inibição CH, e redução dos teores de antioxidantes. 440 μmol m^{-2} s^{-1} foi considerada ótima.
9	Manjericão roxo e verde	12	120. TA: 2V:1A, 1V:1A e 1V:2A	Produtividade satisfatória. E aumento dos compostos secundários com as combinações de azul e vermelho, sendo a proporção dependente da pigmentação da cultivar.
10	Rúcula, Repolho, Mostarda e Couve	24	50 a 100. TA: V; A; AI	Maior alongamento do hipocótilo sob menor DFFF para repolho e couve. Cotilédone menor no A que no V, o que parece ser sob luz apenas A, mecanismo de evitação de sombreamento.

Legendas: Referências (R*), fotoperíodo (FP), tratamentos adicionais (TA), densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFF), comprimento do hipocótilo (CH), massa de matéria seca (MS), vermelho (V), azul (A), azul com impureza (AI) verde (VE), amarelo (AM) e branco (B). Referências: 1) Ampim et al. (2020); 2) Craver et al. (2017); 3) Gerovac et al. (2016); 4) Samuoliene et al. (2017); 5) Brazaitytė et al. (2015a); 6) Vastakaitė et al. (2015); 7) Samuoliene et al. (2013); 8) Virsile e Sirtautus (2013); 9) Lobiu et al. (2017); 10) Kong et al. (2019).

Pesquisas demonstram que, além da biofortificação genética e agronômica, a iluminação artificial pode ser uma ferramenta capaz de alterar o valor nutricional de culturas adaptadas a sistemas de produção *indoor*. Xonti et al. (2020) concluíram em estudo com rabanete e couve que a exposição dos microverdes a DFFF de 270 µmol m^{-2} s^{-1} aumentou a capacidade total de antioxidantes em 1,7 e 2,5 vezes comparado ao cultivo em 70 µmol m^{-2} s^{-1}; o aumento da DFFF impactou também positivamente o teor de amido, porém os teores de ácido ascórbico caíram para o rabanete e não se alteram para couve.

O incremento da DFFF é geralmente associado ao aumento de produtividade e massa seca, à redução da altura e área foliar, para plantas no estádio de plântula cultivadas sob iluminação artificial (Kitaya et al. 1998, Samuoliene et al. 2013, Virsile e Sirtautas, 2013, Gerovac et al. 2016, Yao et al. 2017, Park e Runkle 2018, Meng e Runkle 2019).

Nos sistemas que trabalham com a suplementação luminosa é difícil mensurar quantos mols de fótons de radiação fotossintética o dossel vegetativo recebeu, pela variação natural da radiação incidente. Porém, em sistemas onde a fonte de radiação luminosa é estritamente fornecida pela iluminação artificial, é possível a utilização da medida proposta por Chun et al. (2001), denominada *integrated photosynthetic photon flux* (IPPF) ou integral do fluxo de fótons fotossintéticos (IFFF).

Tal medida padroniza a quantificação da DFFF em função do fotoperíodo (FP) e da duração do ciclo de cultivo (Dias), possibilitando a relação entre produção, área e DFFF, originando a eficiência do uso dos fótons (EUF), que é definida pela produtividade obtida em função dos mols de fótons emitidos, a qual pode ser calculada a partir das seguintes equações:

Equação (1)

$$\frac{(\text{DFFF } \mu\text{mol } m^{-2}\ s^{-1}) \times (60 \text{ segundos}) \times (60 \text{ minutos}) \times (\text{FP}) \times (\text{Dias})}{1000000} = \text{Mols de fótons}$$

Equação (2)

$$\text{EUF} = \frac{\text{MF}}{\text{Mols de fótons}}$$

Porém, Jones-Baumgardt et al. (2020) ressaltam a importância da forma na qual os mols de fótons são fornecidos às plantas, pois mesmo recebendo mesma IFFF, a resposta pode diferir. Por exemplo, a iluminação com 200 µmol m^{-2} s^{-1} por 8 horas em comparação a 100 µmol m^{-2} s^{-1} por 16 horas, ambos totalizam 5,76 mols de fótons, porém a interação com a planta e seus pigmentos é distinta.

2.4 Densidade de semeadura

A utilização de adequada densidade de semeadura (DS), é de extrema importância para a obtenção de produtividade e qualidade satisfatórias dos microverdes; além de representarem parte significativa do custo de produção (Xiao et al. 2015, Nolan 2018).

A DS depende da espécie, devido à variação do tamanho da semente (Jones-Baumgardt et al., 2019), e do estádio de desenvolvimento em que se pretende colher (Verlinden, 2020). Pode ser abordada em duas principais unidades de medida, sendo elas o número de sementes por centímetro quadrado ou gramas por metro quadrado (g m^{-2}). Sementes menores são semeadas em maior número por área (n° cm^2) e menor massa (g m^{-2}), enquanto sementes maiores são semeadas em menor n° cm^{-2}, porém com maior g m^{-2}.

Allred e Mattson (2018) avaliaram densidades variando entre 7 e 21 sementes por polegada, equivalente a 18 a 52 sementes por cm^2, ou em massa a 2,5 a 7,4 g para rúcula, 2,9 a 8,6 g para mizuna e 2,8 a 8,4g para mostarda, por bandejas plásticas (25,4 x 50,8 cm), o equivalente à densidade de semeadura de 19,4 a 57,4 g m^{-2} para rúcula, 22,5 a 66,7 g m^{-2} para couve-mizuna e 21,7 a 65,1 para mostarda g m^{-2}. Os autores concluíram que o aumento da densidade de semeadura representa aumento significativo na produtividade, porém a massa individual da plântula diminui. Até o valor de 11 sementes por polegada houve aumento da produtividade, em 24%, 32% e 33% para rúcula, mizuna e mostarda, respectivamente.

Murphy e Pill (2010) obtiveram resultado semelhante para rúcula, com aumento linear do número de plântulas por m^2, consequência do aumento da densidade de semeadura, obteve-se ganho de produtividade, e queda linear da massa individual da plântula. Segundo os autores, essa redução está relacionada ao aumento da competição entre as plântulas por recursos, como água, nutrientes e luz, resultando também em menor área cotiledonar. Menores DS, produzem menores populações de plântulas, cada indivíduo é mais baixo e com cotilédones maiores, já em densidades maiores de semeadura os indivíduos se tornam mais altos, com cotilédones menores, sinalizando que a depender do mercado alvo, pode se optar por uma característica em detrimento de outra (Allred e Mattson, 2018).

Wieth et al. (2018) cultivando rúcula de folha larga, em substrato com solução nutritiva proposta por Santos et al. (2004) para forragem hidropônica, obteve com 100 g m^{-2} a produção de 1.470 g m^{-2} de massa fresca colhida aos 8 dias após a semeadura (DAS), obtendo a relação entre a massa fresca (colhida) e a massa semeada (MF/MSE) de 14,7.

Nolan (2018) estudou microverdes de cultivares de rabanete misturadas, obteve produção de 1.153 g m^{-2}, com a utilização de 102 g m^{-2} na semeadura, o que corresponde a 11,2

de MF/MSE com a colheita aos 13 DAS. Bulgari et al. (2016), com a densidade de 45 g m^{-2} para rúcula semelhante a 43 g m^{-2} utilizada por Nolan (2018), obtiveram produção de 1.600 g m^{-2} maior que 490,6 g m^{-2} média obtida por Nolan (2018) e inferior a 2.197 g m^{-2} obtida por Johnny's (2017). Bulgari et al. (2016) utilizaram vermiculita e solução hidropônica para o cultivo de microverdes, em ambiente com iluminação artificial e controle de temperatura.

Em relação a densidade de semeadura utilizada, Johnny's (2017) semeou quase o dobro da densidade (195g m^{-2}) utilizada por Nolan (2018) para o cultivo de microverdes de rabanete (102,5gm^{-2}). Pesquisas da Bright Agrotech (Storey 2017) recomendam densidades de semeadura ainda maiores 220 g m^{-2} e 439 g m^{-2} para rúcula e rabanete, respectivamente, havendo, portanto, discrepância nas densidades de semeaduras, recomendadas e utilizadas por diferentes autores, a qual necessita ser pesquisada, a fim de refinar o processo de produção de microverde (Tabela 2).

Tabela 2 - Densidades de semeadura utilizadas por diferentes autores para produção de microverdes de diferentes espécies.

Espécies	Ervilha	Girassol	Manjericão	Rabanete	Repolho-roxo	Repolho	Rúcula
Referência (*)	---------- g m^{-2}----------						
1	-	-	-	439	-	-	-
2	-	-	50	-	-	-	45
3	-	1.696,8	-	557	-	-	-
4	2.750	-	220	-	226,7	-	154
5	-	375	-	313	-	-	-
6	-	367,5	-	306	-	-	-
7	-	-	50	195	84	-	80
8	-	-	-	-	-	88,5	35
9	1.388	555,5	-	-	55,5	-	33,3
10	-	-	41	103	-	-	43
11	-	-	-	-	310	-	-
12	-	-	-	-	-	-	100
Média	2,069	748,5	90,25	319	169,05	88,5	70

* 1) Brigh Agrotech (2018); 2) Bulgari et al. (2016); 3) Ciuta (2020); 4) Crop King (2018); 5) Ghoora e Srividya (2018); 6) Ghoora et al. (2020); 7) Johnny's (2017); 8) Jones-Baumgardt et al. (2020); 9) Kumar (2018); 10) Nolan (2018); 11) Weber (2016) e 12) Wieth (2018).

3 REFERÊNCIAS

Al-Chalabi, M. (2015). Vertical farming: Skyscraper sustainability. Sustainable Cities and Society, 18, 74-77.

Allred, J., Mattson, N. (2018). Growing better greenhouse microgreens in under control: tips for controlled environment growing. Greenhouse Product News, Vegetable Growers News, 10 - 13.

Ampim, P. A.Y., Obeng, E., Gonzalez, E. O., Weerasooriya, A., Osuji, G. O., Myers, D. J. (2020). The response of egyptian spinach and vegetable amaranth microgreens to different light regimes. Scientific Journal of Biology & Life Sciences, 1, 1-5.

Benke, K., Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture, Sustainability: Science, Practice and Policy, 13, 13-26.

Besthorn, F. H. (2013). Vertical Farming: Social work and sustainable urban agriculture in an age of global food crises, Australian Social Work, 66, 187-203.

Bhatt, P., Sharma, S. (2018). Microgreens: A nutrient rich crop that can diversify food system. International Journal of Pure & Applied Bioscience, 182-186.

Bliss, R. M. (2014). Specialty greens pack a nutritional punch. Journal Of Agricultural And Food Chemistry, 10-11.

Bourget, C. M. (2008). An Introduction to Light-emitting Diodes. American Society for Horticultural Science, 43, 1944-1946.

Brazaitytė, A., Sakalauskiene, S., Samuoliene, G., Jankauskiene, J., Virsile, A., Novickovas, A., Sirtautas, R., Miliauskiene, J., Vaštakaitė, V., Dabasinskas, L., Duchovskis, P. (2015a). The effects of LED illumination spectra and intensity on carotenoid content in Brassicaceae microgreens. Food Chem. 173, 600–606.

Brazaitytė, A., A. Viršilė, J. Jankauskienė, S. Sakalauskienė, G. Samuolienė, R. Sirtautas, A. Novicˇkovas, L. Dabašinskas, J. Miliauskienė, V. Vaštakaitė, A. Bagdonavicˇienė., P. Duchovski. (2015b). Effect of supplemental UV-A irradiation in solid-state lighting on the growth and phytochemical content of microgreens. Intl. Agrophysics 29(1):13–22.

Brazaityte, A., Viršile, A., Samuoliene, G., Kairiene, V. V., Jankauskiene, J., Miliauskiene, J., kovas, A,. N., Duchovskis, P. (2019). Response of mustard microgreens to different wavelengths and durations of UV-A LEDs. Front. Plant Sci, 10, 1153.

Bulgari, R., Baldi, A., Ferrante, A., Lenzi, A. (2016): Yield and quality of basil, Swiss chard, and rocket microgreens grown in a hydroponic system, New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 45, 119 – 129.

Choe, U., Yu, L. L., Wang, T. T. Y. (2018). The science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 66, 11519 -11530.

Ciuta, F., Arghir, L. D., Tudor, C. A., Viorica, L. L. (2020) Research on microgreens farming in vertical hydroponic system. Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology, 24, 27 - 34.

Craver, J. K., Gerovac, J. R and Lopez, R. G. (2017). Light intensity and light quality from sole-source light-emitting diodes Impact Phytochemical Concentrations within Brassica Microgreen. J. AMER. SOC. HORT. SCI, 142, 3–12.

Di Gioia, F., Santamaria, P. (2015). Microgreens novel fresh and functional food to explore all the value of biodiversity. South African Journal of Botany,106, 250.

Di Gioia, F., Bellis, P., Mininni, C., Santamaria, P., Serio, F. (2016). Physiochemical, agronomical and microbiological evaluation of alternative media for the production of rapini (Brassica rapa L.) microgreens. J. Sci. Food Agric, 97, 1212–1219.

Di Gioia, F., Renna, M., Santamaria, P. (2017) Sprouts, Microgreens and "Baby Leaf" Vegetables. In Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables. Springer US, p.403-432, 2017. ISBN: 978-1-4939-7016-2.

Gerovac, J. R., J. K. Craver, J.K. Boldt., R.G. Lopez. (2016). Light intensity and quality from sole-source light-emitting diodes impact growth, morphology, and nutrient content of brassica microgreens. HortScience, 51, 497–503.

Ghoora, M. D., Srividya, N. (2018). Micro-farming of greens: a viable enterprise for enhancing economic, food and nutritional security of farmers. International Journal of Nutrition and Agriculture Research, 5, 10 - 16.

Huang, H., X. Jiang, Z. Xiao, L. Yu, Q. Pham, J. Sun, P. Chen, W. Yokoyama, L. Yu, S. Luo, and T.T.Y. Wang. (2016). Red cabbage microgreens lower circulating low-density lipoprotein (LDL), liver cholesterol, and inflammatory cytokines in mice fed a high fat diet. J. Agric. Food Chem, 64, 9161 - 9171.

Ghoora, M. D., Babub, D. R., N. Srividyaa. (2020). Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens. Journal of Food Composition and Analysis, 91, 103495.

Johnny's. (2017) Disponível em: <https://www.johnnyseeds.com/growers-library/vegetables/microgreens/micro-greens-yield-data-trial-summary-discussion.html> Acessado em: 7 ago. 2017

Jones-Baumgardt, C., Llewellyn, D., Zheng, Y. (2020). Different Microgreen Genotypes Have Unique Growth and Yield Responses to Intensity of Supplemental PAR from Light-emitting Diodes during Winter Greenhouse Production in Southern Ontario, Canada. Hortscience, 55, 156–163.

Jones-Baumgardt, C., Llewellyn, D., Ying, Q and Zheng, Y. (2019). Intensity of Sole-source Light-emitting Diodes Affects Growth, Yield, and Quality of Brassicaceae Microgreens. Hortscience, 54, 1168–1174.

Kong,Y., Zheng, Y. (2020). Growth and morphology responses to narrow-band blue light and its coaction with low-level UVB or green light: A comparison with red light in four microgreen species. Environmental and Experimental Botany, 178, 104189.

Kong, Y., Schiestel, K. and Zheng, Y. (2019). Pure blue light effects on growth and morphology are slightly changed by adding low-level UVA or far-red light: A comparison with red light in four microgreen species. Environmental and Experimental Botany, 157, 58-68.

Kopsell, D.A., C.E. Sams. (2013). Increases in shoot tissue pigments, glucosinolates, and mineral elements in sprouting broccoli after exposure to short-duration blue light from light emitting diodes. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 138, 31–37.

Kopsell, D.A., C.E. Sams, T.C. Barickman, and R.C. Morrow. (2014). Sprouting broccoli accumulate concentrations of nutritionally important metabolites under narrow-band light-emitting diode lighting. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 139, 469–477.

Kopsell, D. A., Pantanizopoulos, N., Sams, C. E and Kopsell, D. E. (2012). Shoot tissue pigment levels increase in 'Florida Broadleaf' mustard (Brassica juncea L.) microgreens following high light treatment. Scientia Horticulturae, 140, 96-99.

Kopsell, D.A., C.E. Sams, and R.C. Morrow. (2015). Blue wavelengths from LED lighting increase nutritionally important metabolites in specialty crops. HortScience 50(9):1285–1288.

Kumar, S., Jasmin, L. and Saravaiya, S. N. (2018). Microgreens: A new beginning towards nutrition and livelihood in urban-peri-urban and rural continuum. Navsari Agricultural University, 246-261, 2018.

Kyriacou, M. C., Rouphael, Y., Di Gioia, F., Kyratzis, A., Serio, F., Renna, M., Pascale, S. and Santamaria, P. (2016). Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. Trends in Food Science e Technology, 57, 103 - 115.

Lee, J. S., Pill, W. G., Cobb, B. B. and Olszewski, M. (2004). Seed treatments to advance greenhouse establishment of beet and chard microgreens. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 79, 565–570.

Lobiuc, A., Vasilache, V., Pintilie, O. T. Stoleru, M. B., Oroian, M and Zamfirache, M. (2017). Blue and red LED illumination improves growth and bioactive compounds contents in acyanic and cyanic Ocimum basilicum L. Molecules, 22, 2111.

Massa, G.D., Kim, H.H., Wheeler, R.M. and Mitchell C.A. (2008) Plant productivity in response to LED lighthing. HortScience, 43, 1951-1956. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951.

Mlinaric, S., Gvozdic, V., Vukovic, A., Varga, M., Vlašicek, I., Cesar, V., Lidija Begovic. (2020). The Effect of Light on Antioxidant Properties and Metabolic Profile of Chia Microgreens Appl. Sci, 10, 5731.

Morrow, R. C. (2008) LED lighting in horticulture. HortScience, 43, 1947-1950.

Muchjajib, U., Muchjajib, S., Suknikom, S e Butsai, J. (2015). Evaluation of organic media alternatives for the production of microgreens in Thailand. XXIX IHC – Proc. I Int. Symp. on Indigenous Vegetables. 157 - 152.

Murphy, C e Pill, W. (2010) Cultural practices to speed the growth of microgreen arugula (roquette; Eruca vesicaria subsp. sativa), The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 85, 171-176.

Nolan, D. A. (2018). Effects of Seed Density and Other Factors on the Yield of Microgreens Grown Hydroponically on Burlap. 44 f. Plant Science and Pest Management, Universidade de Virgínia.

Oliveira, R. P., Rocha, P. S. G e Scivittaro, W. B. Estruturação de Sistema de LEDs em Laboratório de Cultura de Tecidos. Circular Técnica. 121, 2011.

Pattison, P. M., Brainard, G. C e Bugbee, B. (2018). LEDs for photons, physiology and food. Nature, 563, 493 - 500.

Pinto, E., Almeida, A. A., Aguiar, A. A e Ferreira, I. M. (2015) Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. Journal of Food Composition and Analysis, 37, 38 - 43.

Purquerio, L. F. V., Calori, A. H., Moraes, L. A. S., Factor, T. L., Tivelli, S. W. (2016). Produção de Mudas de Hortaliças: Produção de baby leaf em bandejas utilizadas para produção de mudas e em hidroponia NFT. EMBRAPA.

Renna, M., Di Gioia, F., Leoni, B., Mininni, C and Santamaria, P. (2016). Culinary assessment of self-produced microgreens as basic ingredients in sweet and savory dishes. Journal of Culinary Science & Technology, 126 - 142.

Riggio, G. M., Wang, Q., Kniel, K. E and Gibson, K. E. (2019). Microgreens – A review of food safety considerations along the farm to fork continuum. Int. J. Food Microbiol, 290, 76 - 85.

Samuoliene, G., A. Brazaitytė, J. Jankauskiene, A. Virsile, R. Sirtautas, A. Novickovas, S. Sakalauskiene, J. Sakalauskaite, and P. Duchovskis. (2013). LED irradiance level affects growth and nutritional quality of brassica microgreens. Central Eur. J. Biol, 8, 1241-1249.

Samuoliene, G., Brazaitytė, A., Virsile, A., Jankauskiene, J., Sakalauskiene, S and Duchovskis, P. (2016). Red light-dose or wavelength-dependent photoresponse of antioxidants in herb microgreens. Plos One.

Samuoliene, G., Brazaityte, A., Viršile., A., Miliauskiene, J., Kairiene, V. V and Duchovskis, P. (2019). Nutrient Levels in Brassicaceae Microgreens Increase Under Tailored Light-Emitting Diode Spectra. Front. Plant Sci, 10, 1475.

Samuoliene, G., Virsile, A., Brazaityte, A., Jankauskiene, J., Sakalauskiene, S., Vaštakaite, V., Novickovas, A., Viskeliene, A., Sasnauskas, A., Duchovskis, P. (2017). Blue light dosage affects carotenoid and tocopherols in microgreens. Food Chem, 228, 50 - 56.

Speer, H., D'Cunha, N. M., Alexopoulos N. I., McKune A. J., Naumovski, N. (2020). Anthocyanins and human health-A focus on oxidative stress, inflammation and disease, Antioxidants, 9, 366.

Storey, A. (2017). 6 ways to grow better microgreens. Crops & Growing Science, Upstart University, Bright Agrotech, Plenty, (2017). https://university.upstartfarmers.com/blog/6-waysto-grow- better-microgreens.

Sun, J. H., Kou, L. P., Geng, P., Huang, H. L., Yang, T. B., Luo, Y. G., Chen, P. (2015). Metabolomic assessment reveals an elevated level of glucosinolate content in CaCl2 treated broccoli microgreens. J. Agric. Food Chem, 63, 1863– 1868.

Sun, J. H., Xiao, Z. L., Lin, L. Z., Lester, G. E., Wang, Q., Harnly, J. M., Chen, P. (2013). Profiling polyphenols in five Brassica species microgreens by UHPLC-PDA-ESI/HRMSn. J. Agric. Food Chem, 61, 10960–10970.

Teng, J., Liao, P e Wang, M. (2021). The role of emerging micro-scale vegetables in human diet and health benefits - an updated review based on microgreens. Food Funct, 12, 1914 -1932.

Touliatos, D., Dodd, I. C e McAinsh, M. (2016). Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics. Food and Energy Security, 5, 184 - 191.

Treadwell, D. D., Hochmuth, R., Landrum, L e Laughlin, W. (2020). View of Microgreens: A New Specialty Crop. EDIS.

Vaštakaitė, V e Virsile, A. (2015). Light-emitting diodes (LEDs) for higher nutritional quality of Brassicaceae microgreens. Research for Rural Development, Latvia University for Rural Development, 1, 111 - 117.

Vaštakaitė, V., ViršilĖ, A., Brazaitytė, A., Samuolienė, G., Jankauskienė, J., Sirtautas, R., Novičkovas, A., Dabašinskas, L., Sakalauskienė, S., Miliauskienė, J., Duchovskis, P. (2015). The effect of blue light dosage on growth and antioxidant properties of microgreens. Scientific Works of the Institute of Horticulture, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry and Aleksandras Stulginskis University. Sodininkystė ir daržininkystė, 34, 25 - 35.

Vastakaite, V., Virsilė, A., Brazaityte, A., Samuoliene, G., Jankauskiene, J., Novickovas, A., Duchovskis, P. (2017). Pulsed light-emitting diodes for a higher phytochemical level in microgreens. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 31, 6529 - 6534.

Verlinden, S. (2020). Microgreens: Definitions, Product Types, and Production Practices. Horticultural Reviews, 47, 85 - 124.

Virsile, A e Sirtautus, R, (2013). Light irradiance level for optimum growth and nutrient contents in borage microgreens. Proc. Intl. Sci. Conf, Rural Devel, 272 - 275.

Weber, C. F. (2016). Nutrient content of cabbage and lettuce microgreens grown on vermicompost and hydroponic growing pads. J Hortic, 3, 190.

Wieth, A. R., Pinheiro, W. D., Duarte, T. S. (2019). Purple cabbage microgreens grown in different substrates and nutritive solution concentrations. Rev. Caatinga,32, 976 - 985.

Wieth, A. R., Pinheiro, W. D., Duarte, T. S., M. A. Silva., Peil, R. M. N. (2018). Produção de microgreens em diferentes substratos e concentrações de solução nutritiva. XII Encontro Brasileiro de Hidroponia e IV Simpósio Brasileiro de Hidroponia, 109 - 112.

Xiao Z., Lester G.E., Luo Y., Wang Q. (2012) Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens, J. Agric. Food. Chem, 60, 7644 - 7651.

Xiao, Z., Lester, G. E., Park, E., Saftner, R. A., Luo, Y., Wang, Q. (2015). Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens. Postharvest Biol. Tec. 110, 140–148. doi: 10.1016/j.postharvbio.2015.07.021.

Xiao, Z., Rausch, S. R., Luo, Y., Sun, J., Yu, L. and Wang, Q., et al. (2019). Microgreens of Brassicaceae: Genetic diversity of phytochemical concentrations and antioxidant capacity. LWT - Food Sci. Tec. 101, 731–737.

Xonti, A., Hunter, E., Kulu, N., Maboeei, P., Stander, M., Kossmann, J., Peters, J., Loedolff, B. (2020). Diversification of health-promoting phytochemicals in radish (Raphanus raphanistrum) and kale (Brassica oleracea) micro-greens using high light bio-fortification. Functional Foods in Health and Disease. 10, 65 - 81.

Yeh, N., Chung, J. P. (2009). High-brightness LEDs—Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 2175 - 2180.

Ying, Q., Kong, Y., Baumgardt, C. J., Zheng, y. (2020). Responses of yield and appearance quality of four Brassicaceae microgreens to varied blue light proportion in red and blue light-emitting diodes lighting. Scientia Horticulturae., 259, 108857.

CAPÍTULO 1

Densidades de fluxo de fótons fotossintéticos e de semeadura para produção *indoor* de microverdes de girassol, rabanete, repolho-verde e repolho-roxo

Densidades de fluxo de fótons fotossintéticos e de semeadura para produção *indoor* de microverdes de girassol, rabanete, repolho-verde e repolho-roxo

Resumo

Os microverdes são plântulas colhidas precocemente com idade entre 7 e 14 dias após a semeadura, com folhas cotiledonares totalmente expandidas, com ou sem o primeiro par de folhas verdadeiras. Tem ciclo curto e se adequa a agricultura urbana e *indoor*. O cultivo *indoor* é recente e existem dúvidas a respeito no uso da iluminação, bem como no manejo dos seus cultivos. O presente estudo objetivou determinar a melhor densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFF) emitidos por luminária LED (50, 100, 150, 200 µmol m^{-2} s^{-1}), e a densidades de semeadura (DS) para girassol (1275, 1700 e 2125 g m^{-2}), rabanete (204, 306 e 408 g m^{-2}), repolho-verde e roxo (126, 180 e 234 g m^{-2}), em sistema vertical *indoor* (*grow chamber*). Foram efetuados experimentos independentes para cada espécie, em parcelas subdivididas, com 3 repetições e blocos casualizados. O repolho-verde apresentou incremento de produtividade até a DFFF de 158 µmol m^{-2} s^{-1}, com valor estimado de 3,8 kg m^{-2}, para o girassol, rabanete e repolho-roxo, a DFFF não apresentou efeito na produtividade, com média de 7,3, 4,3 e 2,7 kg m^{-2} respectivamente, colhidos no décimo dia após a semeadura. Conclui-se que os microverdes de girassol rabanete e repolho-roxo não necessitam de DFFF superior a 50 µmol m^{-2} s^{-1}; a DS afeta a produtividade e qualidade dos microverdes estudados, apresentando incremento de produtividade, no entanto, redução dos teores de compostos benéficos a saúde, observou-se também, que os custos com energia elétrica para o fornecimento de fótons, nos melhores tratamentos, não ultrapassaram 20 %, o que indica a viabilidade do cultivo *indoor* de microverdes.

Palavras-chave: agricultura urbana, ambiente controlado, cultivo vertical, fábrica de plantas, iluminação artificial para plantas.

Photosynthetic photon flux densities and seeding density for indoor production of sunflower, radish, cabbage green and red microgreens

Abstract

Microgreens are early seedlings harvested between 7 and 14 days after sowing, with fully expanded cotyledonary leaves, with or without the first pair of true leaves. It has a short cycle and is suitable for urban and *indoor* agriculture. The *indoor* is recent and there are doubts about the use of lighting, as well as the management of crops. The present study aimed to determine the best photosynthetically photons flux density (PFFD) by LED luminaires (50, 100, 50, 200 m^{-2} µmol m^{-2} s^{-1}), and the sowing density for sunflower (1275, 170 and 2125 g m^{-2}), radish (204, 306 and 408 g m^{-2}), green and red cabbage (126, 180 and 234 g m^{-2}), in a vertical *indoor* system (growth chamber). Independent experiments for each species in split plots with 3 and randomized blocks were replaced. The cabbage showed productivity increase up to PFFD 158 µmol m^{-2} s^{-1}, with an estimated value of 3.8 kg m^{-2}, for sunflower, radish and red cabbage, PFFD had no effect on productivity, with average of 7.3, 4.3 and 2.7 kg m^{-2}, harvested 10 days after sowing. It is concluded that sunflower, radish and red cabbage microgreens dont need PFFD greater than 50 μmol^{-2} s^{-1}; sowing density affects productivity and productivity costs, increasing productivity, however, reducing the amount of health beneficial compunds, it was also observed that the energy costs, in the best treatments, did not exceed 20%, which indicates the viability of *indoor* microgreen cultivation.

Keywords: artificial lighting for plants, controlled environment, plant factory, urban agriculture, vertical farming.

Introdução

A agricultura contemporânea, está diante de um cenário global desafiador, devido ao aumento populacional e as mudanças no clima (Fedoroff 2015). De um lado necessita aumentar sua produção, sem que haja o avanço para novas áreas, de outro, sofre com recorrente quebra de safra, devido eventos climáticos (Benke e Tomkins, 2017).

Com o objetivo de transpor tais desafios aliado ao advento da tecnologia LED (*light emitting diode*), o conceito de agricultura em ambiente controlado com iluminação artificial (*indoor)* e cultivo vertical ganha atenção. Modelo de produção este, que pode ocupar espaços ociosos em perímetro urbano em grandes metrópoles, com possibilidade de controle das variáveis ambientais, garantindo aumento na produtividade, qualidade e previsibilidade da produção, além de aproximar o produto dos consumidores, o que reduz riscos da falta de abastecimento (Morrow 2008). Modalidade de cultivo essa definida como *plant factories* (Kozai e Niu 2020).

O uso do LED, marcou grande avanço na iluminação para a produção de plantas (Yeh e Chung 2009). Entre as vantagens, as luminárias LED podem ser colocadas próximas à planta, pois emitem baixo calor radiante, possibilitando assim, o aumento de aproveitamento da radiação (fótons) emitida, pela possibilidade de aproximação do dossel da cultura da fonte de radiação, favorecendo a verticalização na unidade produtiva (Benke e Tomkins, 2017). Assim, nessa, a produtividade é maximizada pela exploração de uma terceira dimensão no cultivo.

Em relação a intensidade luminosa necessária para o cultivo, Pattisson et al. (2018) verificou a viabilidade econômica do cultivo *indoor*, em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) por massa seca produzida. Chegou à conclusão de que cultivos de ciclo rápido como o de microverde entre outros, é viável, em detrimento de culturas de ciclo longo, devido ao valor comercial atribuído a sua massa seca e a DFFF necessária para obtê-la.

No entanto, como o cultivo *indoor* e de microverdes é recente, se faz necessário o estudo do manejo da iluminação artificial. Estudos têm demostrado que a DFFF exerce efeito na produtividade e qualidade dos microverdes, com respostas diferentes entre espécies (Samuoliene et al. 2013, Brazaityte et al. 2015, Kopsell et al. 2015, Craver et al. 2017, Lobiuc et al. 2017, Jones-Baumgardt et al. 2019, Jones-Baumgardt et al. 2020). Além da influência na produtividade e qualidade, a baixa eficiência no uso dos fótons pode representar custos desnecessários de infraestrutura e consumo energético, o que impacta a viabilidade econômica da unidade produtiva.

Como microverdes são plântulas que tem durante o ciclo produtivo, contribuição da fase autotrófica e heterótrofa (Jones-Baumgardt et al. 2019), colhidos em sua maioria entre 7 e 15 dias após a semeadura (Renna et al. 2016, Di Gioia et al. 2015, Treadwell et al. 2020), oferecem elevada produtividade e valor nutricional, por apresentar em sua composição vitaminas, minerais e antioxidantes, benéficos a saúde humana (Xiao et al. 2012, Pinto et al. 2015, Xiao et al. 2015) com baixa necessidade por fótons, se comparados com plantas de ciclo mais longo. Ponto vantajoso que indica a aptidão do cultivo de microverde em sistemas *indoor*. Porém, se o cultivo de microverdes demanda menos radiação; para obtê-los é necessário o emprego de elevada densidade de semeadura (DS), a fim de atingir a população de plantas que caracteriza o cultivo (Kyriacou et al. 2016), no qual as sementes são semeadas com espaçamento nulo ou milimétrico.

Sendo que, à adequação da DS é necessária para obtenção de produtividade e qualidade satisfatórias, além de representar parte significativa do custo de produção (Xiao et al. 2015). A DS varia em função do tamanho da semente (Jones-Baumgardt et al., 2019) e do estádio de desenvolvimento no qual se pretende realizar a colheita (Verlinden, 2020).

Em virtude da DFFF e DS impactarem diretamente a produtividade, qualidade e viabilidade do cultivo *indoor* de microverdes, foi testada a hipótese de que o aumento da DFFF e da DS incrementam a produtividade e qualidade de microverde. Portanto, avaliou-se o cultivo de microverde sob quatro DFFF 50, 100, 150, 200 µ mol m^{-2} s^{-1} e três densidades de semeadura, para quatro espécies, girassol 1.275, 1.700 e 2.125 g m^{-2}, rabanete 272, 340 e 408 g m^{-2} e para o repolho-verde e roxo 126, 180 e 235 g m^{-2} produzidos em cultivo vertical *indoor*.

Material e Métodos

Foram realizados quatro experimentos independentes no Centro de Horticultura, do Instituto Agronômico (IAC), Campinas, SP (22º54’20” Sul e 47º05’34” Oeste, altitude 674 m), estudando o efeito da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) e a densidade de semeadura (DS) para produção *indoor* de microverdes de quatro espécies.

Estrutura de cultivo

A sala (5,0 x 4,0 m, pé direito de 3,0 m) onde os experimentos foram realizados foi construída em alvenaria sem a incidência de luz natural, climatizada com condicionador de ar de 18.000 btu e mantida a 25 °C. As câmaras de cultivo foram construídas de aço (0,6 x 0,9 m e 2,6 m de altura), com distância entre os andares de 0,3 m (Figura 2A). A distância da fonte da

DFFF ao dossel das plântulas foi 0,25 m. Foram instaladas cortinas de policloreto de vinila (PVC) branco fosco na parte interna, fechando 3 lados da câmara de cultivo, para minimizar a perda DFFF e evitar interferência entre os tratamentos (Figura 2B). Sensores termopar (cobre/constantan) foram posicionados dentro da câmara de cultivo nos diferentes tratamentos de DFFF (Figura 2B), para coleta de dados da temperatura do ar (˚C) (Campbell Scientific modelo CR1000). Também foi realizado o monitoramento da temperatura do ar da sala de cultivo com sensor instalado a 2,6 m de altura.

O fornecimento da DFFF foi feito por luminárias (Leds-UP, modelo GLP-v.11.7.1-21), composta por LED na intensidade de 85 µ mol m^{-2} s^{-1} a 15 cm (distância dossel a fonte de luz) e potência de 7 W, com comprimento de 30 cm. A distribuição da intensidade da luminária pode ser verificada na figura 3A. A composição do espectro foi aferida com espectrômetro (modelo Spectrapen sp 110) conforme figura 3B. Constatou-se picos no comprimento de 450 e 645 nm, correspondentes a 26 % azul e 57 % vermelho. O espectro foi o mesmo para todos os tratamentos de DFFF.

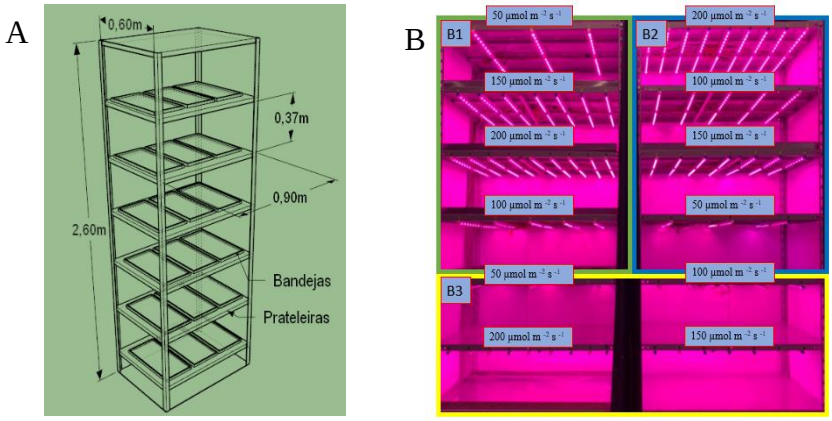


Figura 2 - Dimensões da estante de cultivo (A) e divisão dos blocos nas estantes (B).

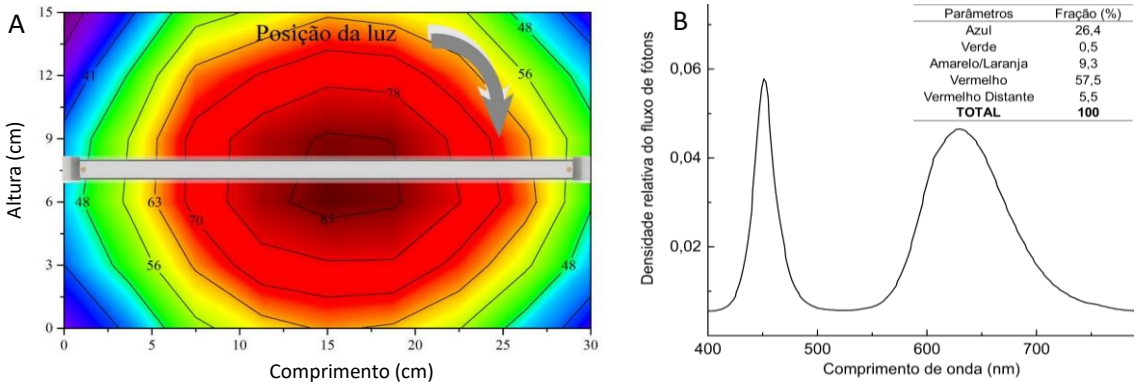


Figura 3 - Distribuição da intensidade da luminária LED (Leds-up, modelo GLP-v.11.7.1-21) (A) e composição do espectro (B).

A verificação da DFFF relativa a cada tratamento foi determinada com sensor de radiação modelo Li-190 (Licor, Lincoln/NE, EUA) acoplado ao registrador de dados modelo Li-1400 (Licor, Lincoln/NE, EUA). O Li-190 foi posicionado na altura do dossel vegetativo, na distância de 25 cm da fonte emissora. Dentro de cada câmara de cultivo, duas luminárias foram colocadas em linha e fixadas na parte superior para fornecimento das distintas DFFF. O número de luminárias utilizado por tratamento foi de 6, 10, 14 e 18 para fornecer 50, 100, 150 e 200 µmol m^{-2} s^{-1}, correspondendo respectivamente a 12, 20, 28 e 36 luminárias m^2.

Tratamentos e delineamento experimental

Os experimentos foram independentes para cada espécie girassol (*Helianthus annuus)*, rabanete *(Raphanus sativus)*, repolho-verde (*Brassica oleracea* var. capitata) e roxo (*Brassica oleracea* var. capitata f. rubra). O tratamento principal foi a densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) de 50, 100, 150 e 200 ±3% µmol m^{-2} s^{-1}, com fotoperíodo de 16 h. O tratamento secundário as densidades de semeadura (DS) (1275, 1700 e 2125 g m^{-2} para girassol; 272, 340 e 408 g m^{-2} para rabanete e 126, 180 e 234 g m^{-2} para repolho-verde e roxo). O delineamento experimental empregado foi o de parcelas subdivididas, com três repetições.

Condução dos experimentos

Para os experimentos de repolho-roxo, girassol, repolho-verde e rabanete a semeadura ocorreu em 04/06, 23/07, 10/09 e 16/10, a transição da fase escura para clara em 08/06, 29/07, 14/09 e 20/10 e a colheita em 14/06, 02/08, 21/09 e 26/10/2021, totalizando 10 dias de ciclo. O cultivo foi feito em bandeja plástica, especifica para produção de microverdes (JKS) com dimensões de 58 x 28 x 3 cm com furações para irrigação por capilaridade e/ou drenagem.

O cultivo foi feito com a utilização de substrato fibra de coco (Amafibra, Golden Mix 11), com pH 6 e condutividade elétrica (CE) 0,8 mS cm^{-1}. A fibra foi hidratada com 20 % de água destilada antes de ser transferida manualmente para a bandeja. Na bandeja o substrato preencheu uma camada de dois centímetros e meio de espessura (4 L e massa de 0,33 kg), sobre a qual foi feita a distribuição das sementes a lanço. As sementes utilizadas não possuíam tratamento químico, utilizado os seguintes materiais: rabanete (Crimson Gigante/Agristar), repolho-verde (Chato de Quintal/Agristar), repolho roxo (Agristar) e girassol (miúdo).

O ciclo de cultivo foi dividido em duas fases. Na primeira, as bandejas foram colocadas em ambiente escuro, para a germinação, estiolamento do hipocótilo e enraizamento das plântulas no substrato. As bandejas permaneceram empilhadas por quatro dias para todas as

espécies. As bandejas foram empilhadas para que o peso favorecesse o enraizamento das plântulas. Após o período sem luz as bandejas foram desempilhadas e levadas para a estante de cultivo, permanecendo na câmara de cultivo até a colheita (Figura 13 anexos).

Após a semeadura foi feita pulverização de solução aquosa contendo 10 % de água sanitária (2% de cloro ativo). Não foi feita irrigação até o final da fase escura. As demais irrigações, na fase clara do cultivo, foram feitas com solução nutritiva para alface (Furlani et al.,1999) por capilaridade e intervalo entre rega de 24 h, totalizando três litros por bandeja ao longo do ciclo. A CE foi mantida em dois mS cm^{-1} e o pH da solução em seis e meio.

A colheita do girassol ocorreu quando houve expansão dos cotilédones e o primórdio da primeira folha verdadeira com máximo dois milimetros. Já para as demais espécies, a colheita ocorreu com a expansão dos cotilédones, mas sem conter a primeira folha verdadeira. A colheita foi feita manualmente com tesoura, com corte do hipocótilo das plântulas a aproximadamente um centímetro acima da superfície do substrato. Após a colheita, as amostras foram avaliadas quanto a características físico-químicas.

Características avaliadas

Foram avaliados: a) massa fresca da parte aérea das plântulas (MF), massa resultante da colheita de todas as plântulas presentes na bandeja; b) massa seca da parte aérea (MS), obtida após secagem em estufa com circulação de ar forçado a 60 °C até massa constante; c) conversão da massa semeada em massa fresca (MF/MSE), relação obtida da divisão da massa fresca obtida pela massa semeada. Com paquímetro digital (Mitutoyo) avaliou-se: a) altura do hipocótilo (AH), aferida do ponto de corte (colheita) até o meristema apical; b) comprimento longitudinal (CL) do cotilédone aferido no sentido do pecíolo do meristema até o ápice do cotilédone; c) comprimento transversal (CT) do cotilédone (mm); d) custo de produção, relação da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos por tratamento com o consumo energético, multiplicado pela tarifa; relação da densidade de semeadura com o custo da semente, multiplicado pela quantidade utilizada. No Laboratório de tecnologia de pós-colheita (LTPC - FEAGRI) avaliou-se: a) pH em 100 mL de solução aquosa (Instituto Adolfo Lutz, 2008); b) sólidos solúveis (°Brix) (Pocket Refractometer, PAL-1, Atago); c) acidez titulável (mg ácido cítrico100 g^{-1}) (Instituto Adolfo Lutz 2008); d) pigmentos clorofila *a* e *b*, carotenoides e antocianina (Sims e Gamon 2002, com adaptações).

Análise estatística

Os dados obtidos em cada experimento foram avaliados estatisticamente através da análise de variância e por meio do teste F. O coeficiente de determinação (R^2) foi construído no programa SigmaPlot. Havendo significância para o tratamento DFFF, foi feita análise de regressão, definindo o melhor ajuste segundo combinação de significância e maior coeficiente de determinação. Havendo significância para a DS foi aplicado Tukey (5%) para comparar as médias dos tratamentos. No programa estatístico R Studio foi feita a análise de componentes principais (*Principal Component Analysis*, PCA), com a utilização do pacote MultivariateAnalysis, sendo o componente principal 1 e 2 plotados para observação de tendencias de agrupamento entre os tratamentos.

Resultados e discussão

A câmara de cultivo apresentou alteração na temperatura média do ar, em função da DFFF. A temperatura média do ar da sala foi de 20; 22; 23 e 23 °C para os experimentos com girassol, rabanete, repolho-verde e roxo (Figura 4). Dentro das câmaras de cultivo com as densidades do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) de 50, 100, 150 e 200 µmol m^{-2} s^{-1} as temperaturas médias do ar foram nos respectivos tratamentos para o girassol de 19; 20; 20 e 21 °C; rabanete 21; 22; 22 e 24 °C, repolho-verde 22; 23; 23 e 24 °C e para o repolho-roxo 22; 24; 25 e 27 °C (Figura 4).

A temperatura do ar da sala de cultivo permaneceu abaixo da configurada no condicionador de ar (24 °C). As câmaras de cultivo apresentaram diferença entre as médias na menor e maior densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) de 1,7, 2,1, 2,2 e 3,9 °C nos experimentos com girassol, rabanete, repolho-roxo e verde. A câmara com DFFF de 200 µmol m^{-2} s^{-1} apresentou temperatura média superior a sala de cultivo e as demais câmaras (50, 100, 150 µmol m^{-2} s^{-1}), com diferença alcançando 4,5 °C em comparação a sala. No entanto, para todos os experimentos a temperatura se manteve na maior parte do ciclo entre 20 e 25 °C, semelhantes as utilizadas em ambiente controlado por diversos autores (Gerovac et al 2016, Jones-Baumgardt et al. 2019, Samuoliene et al. 2019, Ciuta et al. 2020, Ghoora et al. 2020, Jones-Baumgardt et al. 2020, Ying et al. 2020).

A temperatura da câmara de cultivo com 50 µmol m^{-2} s^{-1} (12 luminárias m^{-2}) se manteve próxima à da sala de cultivo para os diferentes experimentos. O aumento da DFFF obtido com maior número de luminárias posicionadas dentro da câmara de cultivo, ocasionou, portanto, maior dissipação de calor, registrada diferença de temperatura dentro da câmara de cultivo no tratamento de 200 µmol m^{-2} s^{-1} (36 luminárias m^{-2}) (Figura 4).

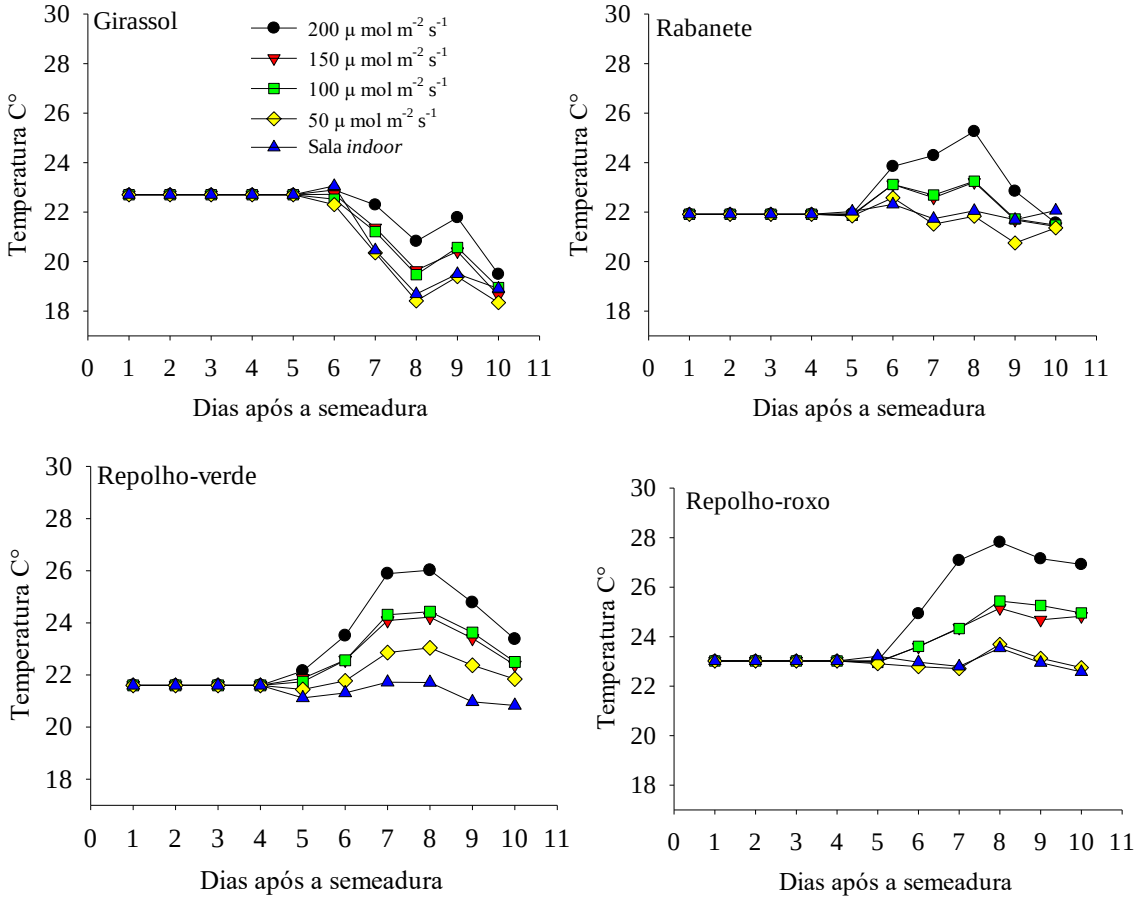


Figura 4 - Temperaturas médias do ar da sala e do interior das câmaras de cultivo, nos tratamentos de DFFF, para quatro experimentos de cultivo de microverde, em estante equipada com LED.

Dentre as características de morfologia e produtividade avaliadas, houve interação significativa entre a DFFF e densidade de semeadura (DS) apenas para comprimento transversal (CT) e longitudinal (CL) do cotilédone, no experimento com rabanete e conversão (MF/MSE) no experimento com repolho-verde. O CT do rabanete diminuiu com o aumento da DFFF até 155 µmol m^{-2} s^{-1} para a DS de 340 g m^{-2}, com mínima de 15,3 mm. Na DS de 272 e 408 g m^{-2} se manteve estável com médias de 19,3 e 15,6 mm, respectivamente (Figura 5A). O CL apresentou aumento linear para a DS 272 g m^{-2} com máxima de 40 mm na DFF de 200 µmol m^{-2} s^{-1}, devido a menor competição por espaço e luz, resultado do cultivo com menor DS e maior DFFF (Figura 5B).

Em relação a MF/MSE houve efeito de interação para o repolho-verde, identificou-se que o aumento de 50 para 200 µmol m^{-2} s^{-1} ocasionou aumento de conversão na menor DS

(126 g m^{-2}) com valor máximo de 25. Nas DS de 180 e 235 g m^{-2} também houve aumento obedecendo polinomial quadrática com máximo observados em 122 e 180 µmol m^{-2} s^{-1} com conversão de 21 e 20 respectivamente (figura 5C). Os valores de conversão indicam que a cada kg semeado mais de 20 kg de microverde de foram obtidos.

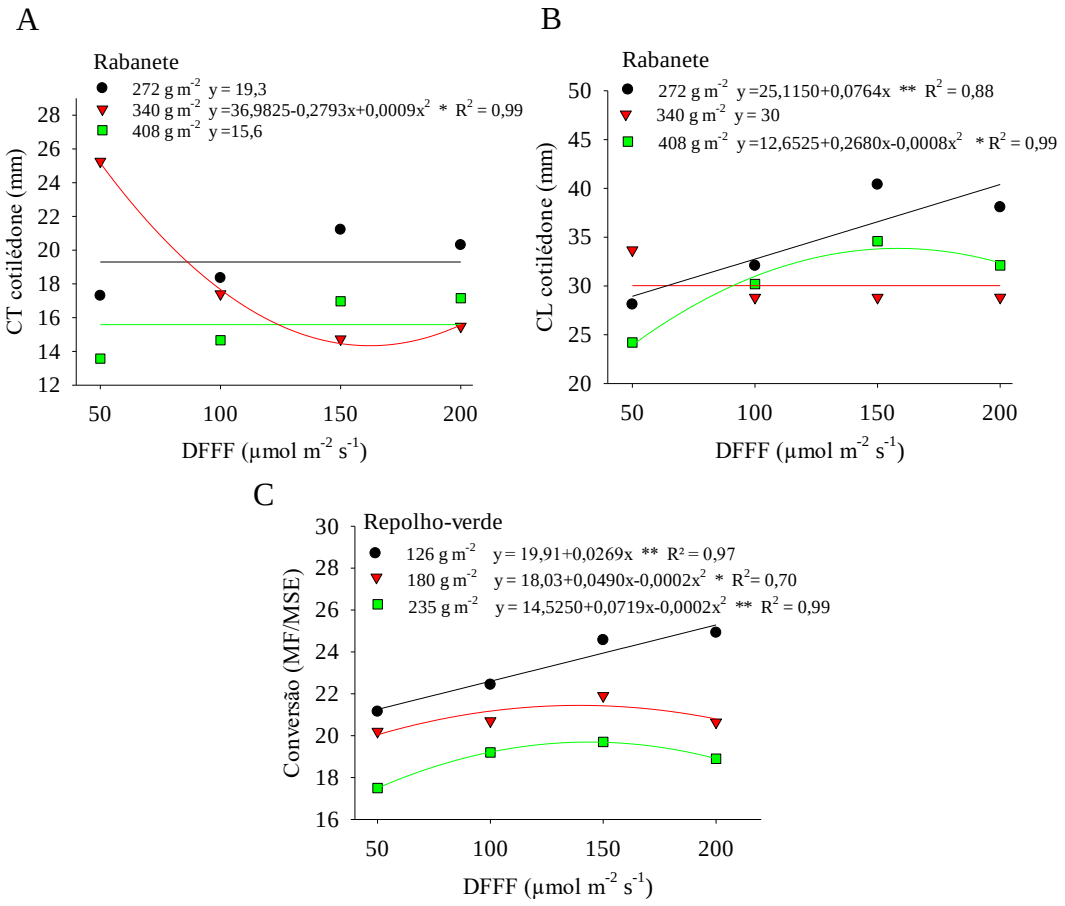


Figura 5 - Comprimento transversal (A) e longitudinal (B) do cotilédone de microverdes de rabanete e conversão da massa semeada em massa fresca (C) de microverde de repolho-verde em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) e densidades de semeadura. * e ** significâncias da regressão em $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente.

Em relação as dimensões da plântula houve efeito isolado do aumento da DFFF no experimento com girassol, que teve aumento do CL e CT em 1,7 e 3,3 mm, bem como CL para o rabanete com ganho de 5,3 mm em 200 µmol m^{-2} s^{-1}(Figuras 6). Não houve resposta para CT nos experimentos com rabanete, repolho-verde e roxo e para o CL do repolho-verde e roxo, com médias de 18; 8; e 8 mm e 11 e 15 mm respectivamente. Resultados que indica resposta variável ao incremento da DFFF de acordo com a espécie, sendo que dentre as espécies

estudadas o girassol apresentou expansão dos cotilédones em função da maior radiação incidente.

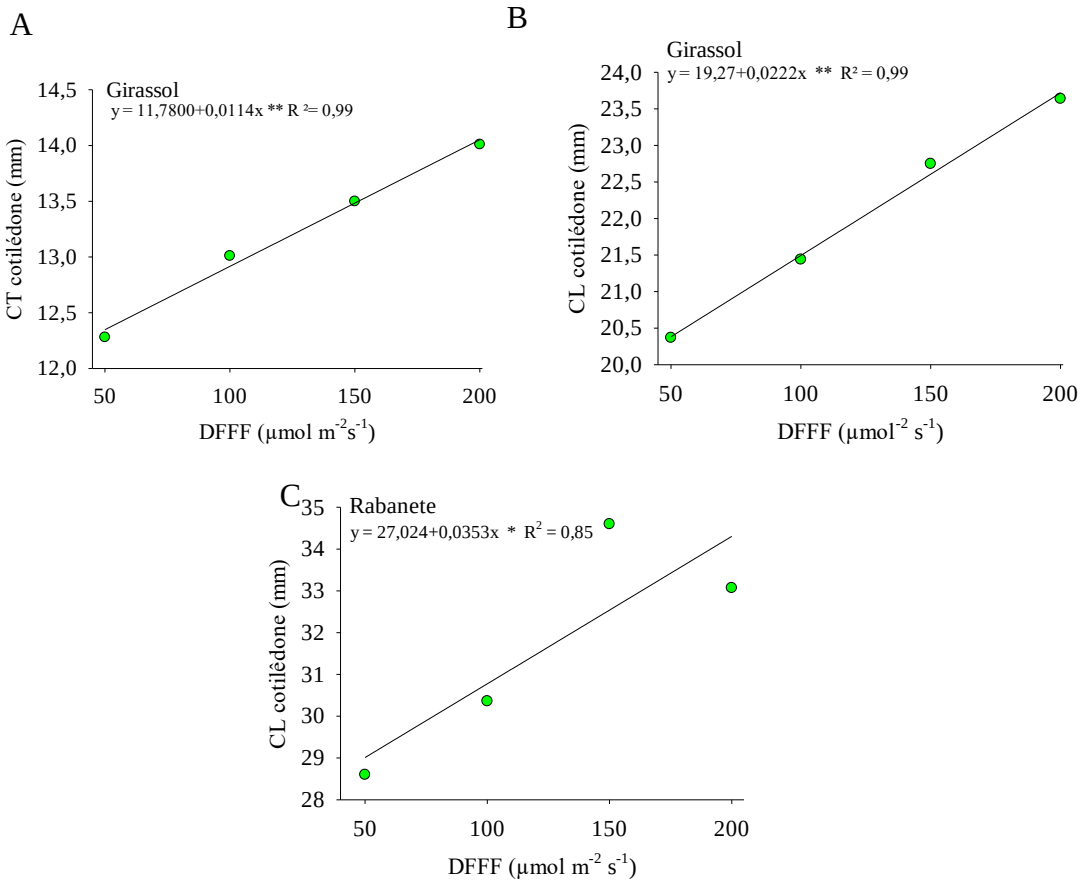


Figura 6 - Comprimento do transversal (CT) e longitudinal (CL) do cotilédone em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) para o microverde de girassol (A e B) e rabanete (C). * e ** significâncias da regressão em $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente.

O comprimento do hipocótilo (CH) é uma característica que define a facilidade de colheita das plântulas e sua qualidade comercial (Vastakaite et al. 2015a e 215b). Plântulas mais altas facilitam a colheita manual e mecanizada. Segundo Jones-Baumgardt et al. (2020) CH acima de 5 cm são desejados, sendo que no presente estudo todas as espécies atingiram comprimento acima do citado, independente da DFFF. Foi observado no presente estudo plântulas com CH de 4,7 a 7 cm, consideradas, portanto, dentro do padrão comercial, e que somado o CL apresentam altura ao redor de 7 e 9 cm (Tabela 3). A maioria das espécies cultivadas para obtenção de microverdes tem comprimento total da plântula entre 5 e 10 cm, do corte ao ápice do cotilédone (Di Gioia et al. 2015, Kyriacou et al. 2016).

O emprego inadequado da DFFF resulta em decréscimo da produtividade (Virsile e Sirtautas 2013, Samuoliene et al. 2013). Segundo Fu et al. (2012a, 2012b) DFFF entre 400 e 600 µmol m^{-2} s^{-1}, para alface (*baby leaf)*, resultou em máxima produtividade, porém de 600 a 800 µmol m^{-2} s^{-1}, verificou ponto de saturação com estabilização na mesma. Entre os produtos vegetais comercialmente produzidos em sistema *indoor*, o microverde é o que tolera menor DFFF, por se tratar de uma plântula que durante o ciclo de cultivo recebe forte contribuição da reserva presente na semente, a qual nutre o embrião, até seu aparato fotossintético ser ativado, o que ocorre apenas após o início da fase clara, momento no qual, no presente estudo já havia atingido 40% da duração do ciclo de cultivo.

Estudos retratam diferentes DFFF para o cultivo de microverde, sendo necessária a identificação do ponto que contemple os aspectos filotécnico e econômico do sistema de produção (Jones-Baumgardt et al. 2020). Segundo Samuoliene et al. (2013), DFFF entre 330 e 440 µmol m^{-2} s^{-1} são consideradas ideais para o cultivo de microverde da família Brassicaceae, enquanto 545 µmol m^{-2} s^{-1} induz estresse foto-oxidativo.

No presente estudo para a massa fresca (MF) e massa seca (MS) houve efeito da DFFF apenas para o repolho-verde (Tabela 10). O aumento da DFFF elevou a MF até valor máximo de 3,8 kg m^{-2} estimado em 158 µmol m^{-2} s^{-1} (Figura 7A). Para MS o aumento da DFFF resultou em aumento linear, e máxima de 140 g m^{-2} (Figura 7B). O aumento da DFFF é reportado como fator que aumenta a MS (Samuoliene et al. 2013, Gerovac et al. 2016, Jones-Baumgardt et al. 2019, Jones-Baumgardt et al. 2020) observado este efeito no presente estudo apenas para o experimento com repolho-verde (Figura 7 B).

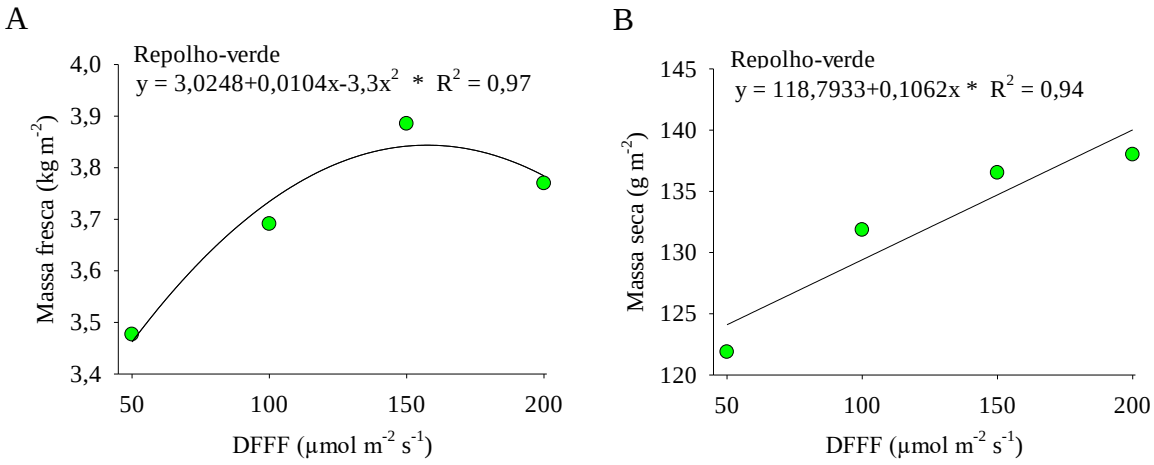


Figura 7 - Massa fresca (A) e seca (B) em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) para o microverde de repolho-verde. * significâncias da regressão em $p < 0,05$ respectivamente.

Para os experimentos com girassol, rabanete e repolho-roxo, não houve efeito isolado da DFFF com médias para MF de 7,1; 4,4 e 2,7 kg m^{-2}, MS de 75; 181 e 158 g m^{-2} e para MF/MSE de 4,4; 13,3 e 16 respectivamente. Estudos retratam diferentes DFFF para o cultivo de microverde, sendo necessária a identificação do ponto que contemple os aspectos fitotécnicos e econômicos do sistema de produção (Jones-Baumgardt et al. 2020). Segundo Samuoliene et al. (2013), DFFF entre 330 e 440 µmol m^{-2} s^{-1} são consideradas ideais para o cultivo de microverde da família Brassicaceae, enquanto 545 µmol m^{-2} s^{-1} induz estresse foto-oxidativo.

Entretanto, existem resultados discordantes sugerindo que menores DFFF são ótimas para o cultivo de microverdes como 150 µmol m^{-2} s^{-1} (Vaštakaite e Virsile 2015). E existem estudos com redução ainda maior como a utilização de 42 µmol m^{-2} s^{-1}, para o cultivo de microverdes de rabanete (Xiao et al. 2014), intensidade próxima ao menor tratamento do presente estudo (50 µmol m^{-2} s^{-1}), que foi o melhor resultado observado para girassol, rabanete e repolho-roxo, por não diferir dos demais em produtividade (MF) e representar menor custo.

Segundo Gerovac et al. (2016) o aumento de 105 para 315 µmol m^{-2} s^{-1} elevou a MF de couve-mizuna em 15%. Nesse caso, houve pequeno ganho de produtividade com aumento de três vezes na DFFF, o que demostra redução na eficiência do uso dos fótons (EUF), medida que relaciona o total de mols de fótons fornecidos a cultura com a massa fresca produzida (Jones-Baumgardt et al. 2020).

Resultado semelhante foi observado no experimento com repolho-verde, onde o aumento na DFFF de 50 para 150 µmol m^{-2} s^{-1} resultou em aumento de 11% na produtividade (0,4 kg m^{-2}) (Figura 7A), porém, com redução na EUF de 0,17 para 0,06 respectivamente. Portanto, mais fótons foram emitidos na DFFF de 150 µmol m^{-2} s^{-1}, com pequeno impacto na produtividade. Desta forma, nem sempre o acréscimo exponencial na DFFF justifica sua adoção, por haver redução na EUF além do custo desnecessário, como observou-se no tratamento de 200 µmol m^{-2} s^{-1} redução da MF, não justificando sua adoção se priorizado a produtividade (Figura 7A).

O microverde é comercializado fresco, portanto, sua produtividade está atrelada diretamente à produção de MF, característica adotada como base para quantificar a produtividade e atribuir valor ao produto no varejo (Murphy e Pill 2010). Já a MS indica a qualidade por representar a fixação de carbono e nutrientes. Se não houve efeito da DFFF sobre MF e MS entre o intervalo de 50 a 200 µmol m^{-2} s^{-1} a utilização de 50 µmol m^{-2} s^{-1} para o cultivo de microverdes se faz efetiva, assim como o manejo da DFFF com fotoperíodo fixo de

16 h e a utilização do espectro descrito na figura 3B. Não inviabilizando o emprego dos demais tratamentos, que foram efetivos, porém menos eficientes, já que 50 µmol m^{-2} s^{-1} apresentou maior EUF, representando economia no consumo energético do aparato de iluminação artificial.

Enquanto o fator de variação DFFF na amplitude estudada, demostrou-se impactar poucas variáveis respostas, houve efeito isolado da densidade de semeadura (DS) para grande parte das características avaliadas de todas as espécies estudadas (Tabelas 6 a 13 anexos), tanto sobre as características de morfologia e produtividade como para as análises físico-químicas (Tabela 3 e 4). O que indica maior influência nas características avaliadas em função da DS que da DFFF.

Para o experimento com girassol o CH diminuiu na maior DS, efeito não observado nos demais experimentos. As dimensões dos cotilédones sofreram redução com o aumento da DS, para o CT e CL houve redução para os experimentos de girassol, rabanete, repolho-verde e roxo de 3, 4, 1 e 1mm e 3, 4, 2 e 2 mm respectivamente (Tabela 3). O aumento da DS resultou em aumento da MF para o rabanete e repolho-verde até as maiores DS (408 e 235 g m^{-2}) com valores de 5,2 e 4,4 kg m^{-2}.

Para o microverde de girassol e repolho-roxo, as DS intermediárias (1700 g m^{-2} e 180 g m^{-2}) apresentaram maior MF de 7,9 e 3,1 kg m^{-2} respectivamente. No experimento com girassol na DS de 2125 g m^{-2} a produtividade média foi de 7,4 kg m^{-2}, menor em 6 % que a produtividade de 7,9 kg m^{-2} obtida na DS de 1700 g m^{-2}, produtividade essa superior a encontrada por Ciuta et al. (2020) de 3,7 kg m^{-2} utilizando DS de 1696 kg m^{-2}. Ghoora et al. (2020) com DS de 368 g m^{-2} obteve produtividade de 2,5 kg m^{-2}.

Para o repolho-roxo não houve diferença na produtividade entre 180 e 235 g m^{-2}, com média de 3 kg m^{-2} o que demonstrou não haver a necessidade de se empregar a maior DS. Fato positivo devido ao alto custo da semente. Já o rabanete com 408 g m^{-2} teve produtividade de 5,2 kg m^{-2}, superior a obtida nas demais DS, e semelhante a obtida por Ghoora et al. (2020) de 4,9 kg m^{-2} com DS de 306 g m^{-2}. O repolho-verde respondeu a maior DS apresentando produtividade de 4,4 kg m^{-2}. A produtividade pode diminuir com aumento excessivo da DS, como visto para o girassol, ou então se estabilizar como ocorreu para repolho-roxo, não justificando, portanto, seu aumento ou adoção. De maneira similar ao encontrado no presente estudo, Murphy e Pill. (2010) verificaram para rúcula, aumento de 120 % (1,2 para 2,6 kg m^{-2}) entre a DS de 14 e 55 g m^{-2}.

Observou-se, portanto, aumento na produtividade na ordem de 20, 47, 51 e 32% para microverde de girassol, rabanete, repolho-verde e roxo, refletindo em incremento de 1,4; 1,7; 1,5 e 0,8 kg m^{-2} respectivamente, o que demostra forte influência da DS sobre a produtividade

dos microverdes (Tabela 3). Resultados que ratificam à necessidade da adoção da DS correta, por produtores de microverdes, para que se obtenha patamares satisfatórios de produtividade e viabilidade do sistema produtivo.

O efeito isolado da DS sobre a MS e a MF/MSE, foi significativo para todos os experimentos (Tabelas 6 a 13 anexos). O aumento da DS resultou em aumento da MS para o girassol, rabanete, repolho-verde e roxo em 21; 60; 51 e 93 g m^{-2}, devido ao maior número de plântulas por área (adensamento). Observou-se que a conversão foi maior nas menores DS, para todos os experimentos, com diferenças de 1,6; 1,7; 4,4 e 5,2 para girassol, rabanete, repolho-verde e roxo respectivamente, resultado que demostra menor competição nas menores DS (Tabela 3).

Tabela 3 - Massa fresca (MF) e seca (MS), conversão (MF/MSE), comprimento do hipocótilo (CH), comprimento transversal (CT) e comprimento longitudinal (CL) do cotilédone, em função da densidade de semeadura, para microverde de quatro espécies, cultivados em sistema vertical *indoor*.

Tratamentos	MF	MS	MF/MSE	CH	CT	CL
g m^{-2}	kg m^{-2}	g m^{-2}		----------mm----------		
Girassol						
1.275	6,5 c[1]	67,9 b	5,1 a	65 a	14 a	22 a
1.700	7,9 a	67,2 b	4,6 b	61 a	14 a	23 a
2.125	7,4 b	88,9 a	3,5 c	48 b	11 b	19 b
DMS	0,4	8	0,2	6	1	2
CV%	5,8	10,2	5,4	10	7,3	8,7
Rabanete						
272	3,5 c	150,2 c	14,1 a	59,3 a	19 a	35 a
340	4,3 b	182,6 b	13,3 b	65,0 a	18 ab	30 b
408	5,2 a	210,0 a	12,4 c	57,9 a	15 b	30 b
DMS	0,2	20	0,6	8	4	3
CV%	4,3	10,3	4,5	12,1	19,2	10,3
Repolho-verde						
126	2,9 c	107,0 c	23,2 a	67,2 a	8,4 a	16 a
180	3,7 b	130,7 b	20,8 b	67,4 a	7,8 b	14 b
235	4,4 a	158,4 a	18,8 c	69,2 a	7,2 c	13 b
DMS	0,1	6,8	0,6	6,5	0,5	2
CV%	3,3	4,9	3,0	9,1	6,2	10,5
Repolho-roxo						
126	2,3 b	112,1 c	18,0a	61 a	9,1 a	16 a
180	3,0 a	155,7 b	17,1b	57,2 a	8,4 ab	14 b
235	3,0 a	204,9 a	12,8b	56,2 a	8,0 b	14 b
DMS	0,6	27,8	3,3	8,0	0,9	1
CV%	21,8	16,7	19,7	13,1	10,7	9,0

[1] Médias na coluna, seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5% probabilidade). Diferença mínima significativa (DMS) e coeficiente de variação (CV%).

Sementes menores como as de repolho-verde e roxo, com tegumento fino, proporcionaram maior MF/MSE que sementes com tegumento grande e espesso (girassol), já que o tegumento não proporciona nutrição e não compõe a MF, porém está incluso na massa de semente (MSE). Mesmo com redução na conversão, observou-se ganho de produtividade em todos os experimentos em função do aumento da DS até certo ponto. Esse resultado indica a maior relevância da contribuição do conjunto de indivíduos que da plântula individualmente na produtividade dos microverdes estudados, o que está relacionado a um ponto ótimo de adensamento o qual varia de acordo com a espécie.

Não foi avaliada a massa individual da plântula, porém foi avaliado o tamanho do cotilédone que pode ser utilizado como um indicativo da massa. As dimensões do cotilédone apresentaram redução em função do aumento da DS para todas as espécies. Segundo Murphy e Pill (2010), a queda na massa individual da plântula está relacionada ao aumento da competição por recursos, como água, nutrientes e luz. Que segundo Allred e Mattson (2018) resulta em redução da área cotiledonar.

Referente as análises físico-químicas, o rabanete e o repolho-roxo apresentaram interação apenas para acidez titulável (AT) (Figura 8). Para o rabanete, o aumento da DFFF até 200 µmol m^{-2} s^{-1} na DS 408 g m^{-2} apresentou resposta linear e mínima de 121,6 mg ácido cítrico 100 g^{-1}. A DS de 272 g m^{-2} se manteve estável em todas DFFF, com média de 137 mg ácido cítrico100 g^{-1}, na DS 340 g m^{-2} obteve-se resposta polinomial quadrática com máxima estimada em 127 µmol m^{-2} s^{-1} (Figura 8A).

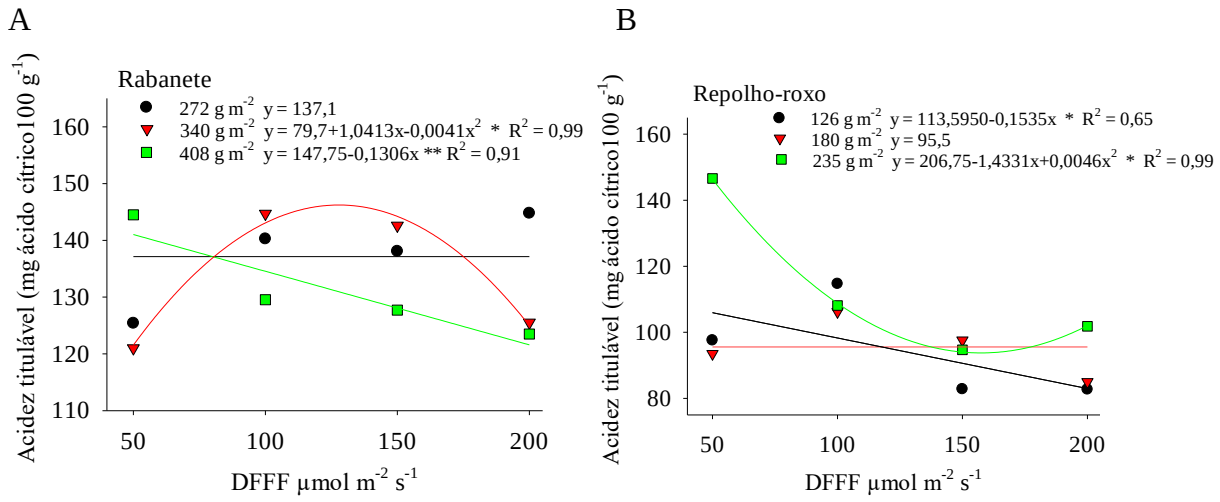


Figura 8 - Acidez titulável, em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) para rabanete (A) e repolho-roxo (B). * e ** significâncias da regressão em $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente.

O aumento da DFFF reduziu a AT do repolho-verde em resposta linear na DS 126 g m^{-2} com mínima de 82,9 mg ácido cítrico100 g^{-1} e quadrática para 235 g m^{-2} com mínima estimada em 158 µmol m^{-2} s^{-1} e valor de 93 mg ácido cítrico100 g^{-1} já 180 g m^{-2} não apesentou variação significativa com média de 95,5 (Figura 8B). O girassol não apresentou efeito de interação para as análises físico-químicas.

Estudos sugerem, que o manejo da DFFF, pode aumentar o valor nutricional de microverdes, pois a resposta a mesma pode alterar os teores de diferentes compostos, benéficos a saúde, presentes nas plântulas (Kopssel et al. 2012) como o teor de antioxidantes (Sun et al. 2013). O microverde de repolho-verde apresentou interação para os teores de carotenoides clorofila *a* e *b*, com resposta semelhante para ambas as características avaliadas, sendo que, o tratamento de menor DS 126 g m^{-2} não sofreu efeito da DFFF e apresentou valores médios de 4,4; 4,9 e 0,86 mg 100 g^{-1} extrato respectivamente. O tratamento de 180 g m^{-2} apresentou resposta linear ao aumento da DFFF, com máximas na DFFF de 200 µmol m^{-2} s^{-1} de 3,8; 4,2 e 0,66 mg 100 g^{-1} extrato. A DS de 235 g m^{-2} não apresentou efeito da DFFF com médias de 2,7; 2,9 e 0,5 mg 100 g^{-1} extrato (Figuras 9A, B e C).

Mlinarc et al (2020) observaram maiores teores de clorofila e carotenoides em microverde de chia cultivado sob iluminação (DFFF de 100 µmol m^{-2} s^{-1}), em comparação a cultivados no escuro, demonstrando que a iluminação eleva os teores, que tem sua síntese estimulada pela incidência de fótons. Teores elevados de clorofila, apresentam potencial bioativo na nutrição humana devido sua capacidade antioxidante (Zepka et al. 2019). Segundo Ilieva et al. (2010) DFFF entre 100 e 300 µmol m^{-2} s^{-1} tem impacto positivo no processo fotossintético, aumentando o conteúdo de clorofila no vegetal.

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} e maior concentração de antocianina para couve-rabano em 312 µmol m^{-2} s^{-1} com diferenças apresentadas também em função da composição espectral.

Brazaityte et al. (2015) encontrou para microverdes de mostarda valores superiores de carotenoides, na DFFF de 110 µmol m^{-2} s^{-1} comparado com 220, 330, 440 e 545 µmol m^{-2} s^{-1}. Outros dados demostram que maiores teores de carotenoides foram obtidos com 275 µmol m^{-2} s^{-1} comparados a 463 µmol m^{-2} s^{-1} (Kopsell et al. 2012). Para couve-pak-choi e tatsoi Brazaitytė et al, (2015) identificou maiores teores nas DFFF de 330 e 440 µmol m^{-2} s^{-1}, resposta similar a encontradas por Samuoliene et al. (2013). No entanto diferentes autores concluem que a resposta a DFFF é sujeita a variação genética.

Em relação aos teores de antocianina os tratamentos de 126 e 235 g m^{-2}, apresentam médias de 1,3 e 1,1 mg 100 g^{-1} extrato, enquanto o tratamento 180 g m^{-2} apresenta aumento linear com máxima de 1,3 mg 100g^{-1} extrato na DFFF de 200 µmol m^{-2} s^{-1} (Figura 9D).

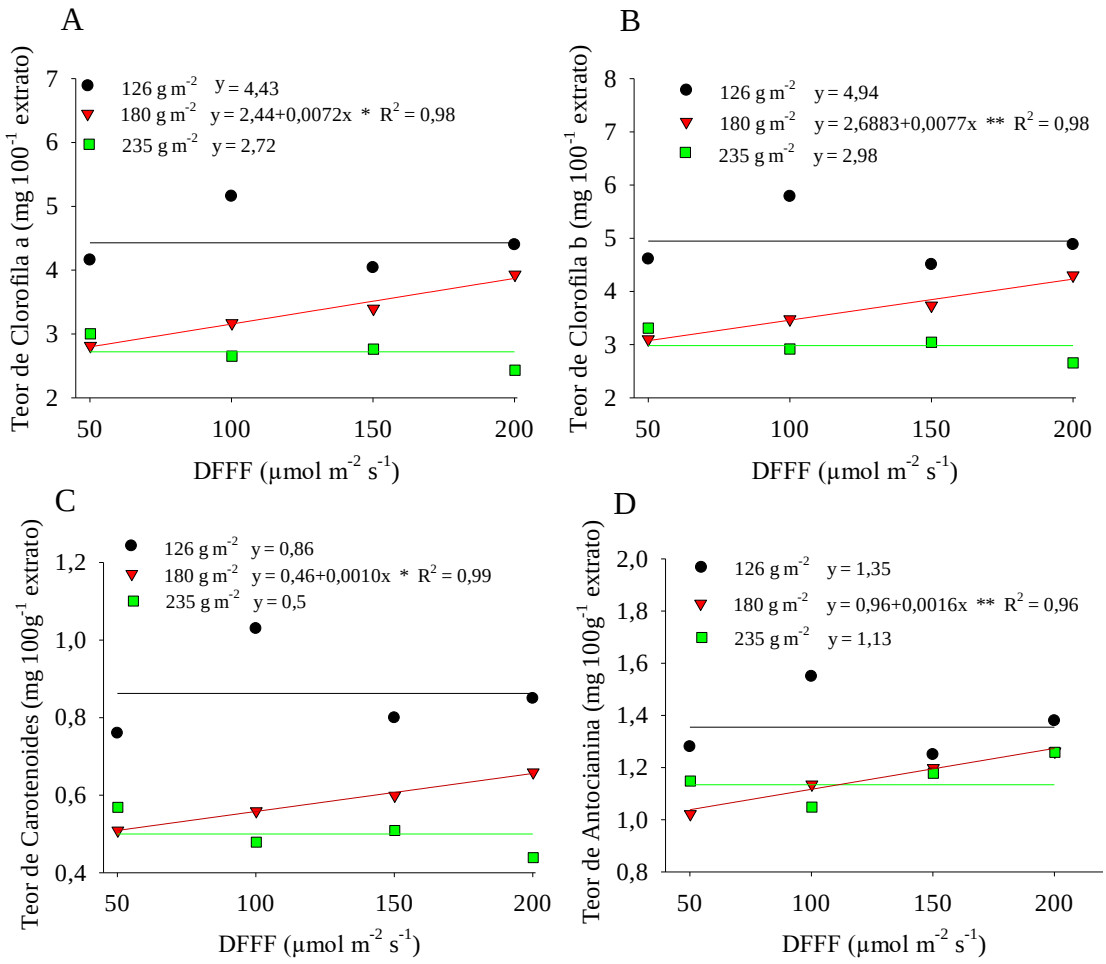


Figura 9 - Teores de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B), carotenoides (C) e antocianina (D), em função da densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFF) para microverde de repolho-verde. * e ** significâncias da regressão em $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente.

A DFFF isolada não teve efeito significativo para as análises físico-químicas efetuadas nos experimentos, resultado este que demostra não haver impacto do uso de menor DFFF na qualidade dos microverdes na amplitude e espécies estudadas, ponto que somado aos menores custos operacionais justifica sua adoção. As demais espécies não apresentaram diferença estatística, o que indica a ausência de influência; portanto 50 µmol m^{-2} s^{-1} foi o melhor resultado.

Semelhante ao obtido por Gerovac et al. (2016) (105 μmol m^{-2} s^{-1}) com microverdes cultivados em menores DFFF que resultaram em produto de maior valor nutricional.

Em relação a DS, seu aumento afetou os microverdes de girassol, rabanete e repolho-verde com redução nos teores de clorofila *a* em 0,8; 0,6 e 1,7 mg 100 g^{-1} extrato, nos teores de clorofila *b*, em 0,9, 0,7 e 0,9 mg 100 g^{-1} extrato respectivamente; não diferindo para o repolho- roxo (Tabela 4).

Tabela 4 - Clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), antocianinas (AN), carotenoides (CA), pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), em função da densidade de semeadura, para microverdes cultivados *indoor.*

Tratamentos	Cl *a*	Cl *b*	AN	CA	pH	SS	AT
g m^{-2}	---------- mg 100 g^{-1} ----------						mg ác 100 g^{-1}
Girassol							
1.275	2,5 a[1]	3,0 a	0,8 a	0,8 a	6,4 a	3 b	87 a
1.700	2,4 a	2,8 a	0,8 a	0,7 b	6,4 a	3 b	87 a
2.125	1,7 b	2,1 b	0,7 b	0,7 b	6,4 a	4 a	93 a
DMS	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,4	7,8
CV%	9,1	8,9	8,8	12,7	0,4	10,6	8,4
Rabanete							
272	3,7 a	4,0 a	1,0 a	0,7 a	6,4 ab	2 a	125 a
340	4,1 a	4,4 a	1,0 a	0,7 a	6,3 b	2 a	121 a
408	3,1 b	3,3 b	0,9 b	0,5 b	6,5 a	2 a	144 a
DMS	0,6	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	23
CV%	15,3	15,5	10,4	17,1	1,7	4,4	8,3
Repolho-verde							
126	4,4 a	4,9 a	1,4 a	0,9 a	6,4 a	3 b	87 a
180	3,3 b	3,6 b	1,1 b	0,6 b	6,4 a	3 b	87 a
235	2,7 c	3,0 c	1,1 b	0,5 b	6,4 a	4 a	93 a
DMS	0,4	0,5	0,1	0,2	0,03	0,4	8
CV%	12	12,3	7,7	13,7	0,4	10,6	8,4
Repolho-roxo							
126	3,6 a	4,0 a	2,9 c	0,7 a	6,1 b	2 b	94 b
180	2,9 a	3,4 a	3,8 b	0,6 a	6,2 ab	2 b	96 b
235	3,5 a	3,9 a	4,7 a	0,7 a	6,3 a	3 a	113 a
DMS	0,9	1	0,6	0,2	0,03	0,3	16
CV%	27,2	24,4	16	33,7	0,4	11,5	14,9

[1]Médias na coluna, seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Os teores de antocianina foram menores com o aumento da DS para os microverdes de girassol, rabanete e repolho verde, em 0,12; 0,11 e 0,24 mg 100g^{-1} extrato. O repolho-roxo apresentou na maior DS aumento do teor de antocianina de 1,8 mg 100 g^{-1} extrato. O aumento da DS reduziu os teores de carotenoides para os microverdes de girassol, rabanete e repolho-verde em 0,1; 0,1 e 0,4 mg 100 g^{-1} extrato, não afetando o repolho-roxo.

Os sólidos solúveis aumentaram nas maiores DS em 1 °Brix para todas as espécies, exceto o rabanete. Em função apenas da DS a acidez titulável diferiu apenas para o repolho-roxo, com aumento de 18,4 mg ác 100 g^{-1} na maior DS.

Na análise PCA (*Principal Component Analysis*) foi identificado que o somatório dos dois primeiros componentes principais explicou 77, 66, 72 e 65% da variação existente entre os dados originais, para os experimentos independentes de girassol, rabanete, repolho-verde e roxo, respectivamente.

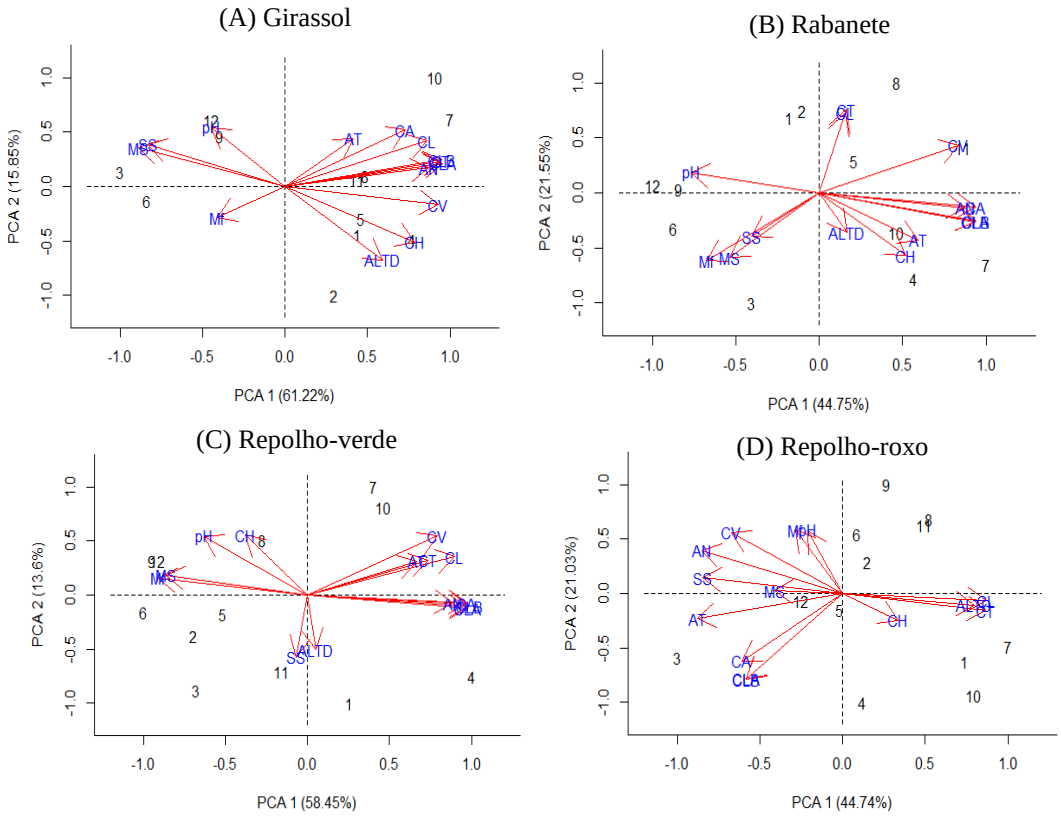
No primeiro componente principal as características de maior contribuição na discriminação dos tratamentos foram: clorofila *a*, carotenoide, clorofila *b* e acidez titulável. No segundo componente destacaram-se: altura do dossel; comprimento transversal do cotilédone; sólidos solúveis e clorofila *b* (Tabela 5).

Tabela 5 - Correlação dos componentes principais (escores), divididos em componente principal 1 e 2 (cp1 e cp2) em função das avaliações: massa fresca (MF) e seca (MS); conversão da massa semeada em massa fresca (MF/MSE); altura do dossel (AD), comprimento do hipocótilo (CH); comprimento transversal (CT) e longitudinal (CL) do cotilédone; pH; sólidos solúveis (SS); acidez titulável (AT); clorofila a (CL*a*) e clorofila b (CL*b*); antocianina (AN) e carotenoides (CA).

Característica	Girassol		Rabanete		Repolho-verde		Repolho -roxo	
	cp1	cp2	cp1	cp2	cp1	cp2	cp1	cp2
MF	-0,4086	-0,2867	-0,6702	-0,6145	-0,9107	0,1555	-0,2838	0,5812
MS	-0,8858	0,3555	-0,5342	-0,5889	-0,8628	0,1828	-0,4101	0,0241
MF/MSE	0,926	-0,1692	0,834	0,4311	0,7906	0,545	-0,6725	0,5613
AD	0,5921	-0,6762	0,1643	-0,3583	0,0505	-0,5077	0,7975	-0,11
CH	0,7867	-0,5096	0,5194	-0,5703	-0,3787	0,5536	0,3359	-0,2444
CT	0,9454	0,2322	0,1603	0,7583	0,7358	0,3229	0,866	-0,1568
CL	0,8611	0,4186	0,1546	0,728	0,896	0,3534	0,8675	-0,0686
pH	-0,4485	0,5433	-0,7678	0,184	-0,6301	0,5387	-0,2133	0,5752
SS	-0,8293	0,3845	-0,4074	-0,3958	-0,0693	-0,5762	-0,8455	0,1445
AT	0,4111	0,4391	0,5896	-0,4302	0,6661	0,3126	-0,8797	-0,2299
CL*a*	0,9535	0,2105	0,931	-0,265	0,9769	-0,1201	-0,5841	-0,7838
CL*b*	0,9487	0,2427	0,9367	-0,2589	0,9841	-0,1033	-0,5837	-0,7916
AN	0,87	0,1707	0,8738	-0,1366	0,8841	-0,0768	-0,8521	0,3968
CA	0,7305	0,5177	0,9368	-0,1308	0,9717	-0,0746	-0,6079	-0,6222

Na figura 10A observou-se o agrupamento dos tratamentos 3, 6, 9 e 12, para o microverde de girassol. Esse agrupamento demostra a separação multidimensional dos tratamentos em função da DS. Resposta semelhante à do girassol pôde ser observada na figura 10B e C para os microverdes de rabanete e repolho-verde. Nestes tratamentos verificou-se

redução nos teores de pigmentos (clorofila *a* e *b*, carotenoides e antocianina) bem como redução nas dimensões da plântula (CT e CL) independente da DFFF, ocasionado devido aumento na DS em 850, 150 e 109 g m^{-2} para girassol, rabanete e repolho-roxo, resultado que demostra redução dos teores dos pigmentos em detrimento do ganho de produtividade.



Legenda: número de 1 a 12 correspondente ao agrupamento dos tratamentos (N°), densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFF), densidade de semeadura (DS), para as espécies: girassol (G), rabanete (R), repolho-verde (RV) e roxo (RR).

N°	**DFFF** µmol m^{-2} s^{-1}	**DS** g m^{-2}	**N°**	**DFFF** µmol m^{-2} s^{-1}	**DS** g m^{-2}
1	50	1275 G, 272 R, 126 RV e RR	**7**	150	1275 G, 272 R, 126 RV e RR
2	50	1700 G, 340 R, 180 RV e RR	**8**	150	1700 G, 340 R, 180 RV e RR
3	50	2125 G, 408 R, 235 RV e RR	**9**	150	2125 G, 408 R, 235 RV e RR
4	100	1275 G, 272 R, 126 RV e RR	**10**	200	1275 G, 272 R, 126 RV e RR
5	100	1700 G, 340 R, 180 RV e RR	**11**	200	1700 G, 340 R, 180 RV e RR
6	100	2125 G, 408 R, 235 RV e RR	**12**	200	2125 G, 408 R, 235 RV e RR

Figura 8 - Gráficos *biplot* de escores e pesos (*loadings*) para os dois primeiras componentes principal (PCA1 e PCA2), em função de quatro tratamentos de DFFF e três densidades de semeadura, para quatro espécies de microverde.

Os tratamentos 7 e 10 se assemelharam em todos os experimentos, demostrando pequena diferença entre o microverde cultivado na DFF de 150 ou 200 µmol m^{-2} s^{-1}, quando

cultivado na DS intermediária, apresentando valores superiores para os teores de clorofila *a* e *b* se comparado aos tratamentos 3, 6, 9 e 12 (maiores DS) indicando ponto ótimo entre produtividade e valor nutricional. À proximidade entre os tratamentos 9 e 12 demonstra resposta semelhante para o girassol, rabanete e repolho-verde, que apresentam nestes tratamentos, valores superiores para MS e MF (Figuras 10A, B e C).

Ainda para mesmas espécies os pigmentos (clorofila *a* e *b* e antocianina) apresentaram posição oposta a MF, MS e SS, o que indica que os tratamentos que apresentaram maiores valores (teores) de pigmentos apresentaram menores valores de MF, MS e SS estabelecendo relação inversamente proporcional.

Variação do custo de produção em função dos tratamentos

O aumento da DFFF, de 50 para 200 μmol m^{-2} s^{-1} com cultivo na fase clara de 6 dias e fotoperíodo (FP) de 16 h, representou o aumento no custo com energia elétrica de R$ 7,5 m^{-2} se considerada tarifa de R$ 0,52 (Equação 1e 2) sendo a potência e consumo da luminária utilizada de 7 W.

(1)

$$\frac{\text{(Número de luminárias) x (Consumo W) x (FP) x (Dias)}}{1000} = \text{Consumo energético kWh}$$

(2) (Consumo energético kWh) x (tarifa R$ kWh) = Custo com energia elétrica

Observou-se que o aumento de 50 μmol m^{-2} s^{-1} equivale a aumento de 48 W no consumo energético, equivalente ao aumento no custo de R$ 2,5 m^{-2} $ciclo^{-1}$ considerando mesmo FP. Os tratamentos de DS são dependentes da espécie, bem como suas características, e custo da semente. Sendo assim, no presente estudo, a variação do custo com sementes por m^{-2} entre as DS menor e maior foi de R$ 14,00; 27,00; 32,70 e 41,40 para girassol, rabanete, repolho-verde e roxo respectivamente. A diferença entre a combinação dos tratamentos de maior custo, ou seja, maior DFFF e maior DS foram de 21,7; 34,7; 40,2 e 48,9 R$ m^{-2} para girassol, rabanete, repolho-verde e roxo respectivamente (Figura 11).

O girassol apresentou menor custo de produção (R$ 22,80 por m^2), na DFFF de 50 μmol m^{-2} s^{-1} e DS de 1275 kg m^{-2}, resultado que somado a produtividade, indica, margem de lucro maior se comparado as demais espécies. O custo de produção relativo aos tratamentos, variou

principalmente devido à diferença no valor da semente, entre as espécies, em segundo plano em função da produtividade.

Portanto, os resultados fitotécnicos e o custo de produção, determinam que a utilização de 50 µmol m^{-2} s^{-1} apresenta-se com menor custo e maior EUF. Em relação a DS, os tratamentos de 1700, 408, 235 e 180 g m^{-2} referente ao girassol, rabanete, repolho-verde e roxo apresentaram maior produtividade, com custo de R$ 29,20; 85,30; 74,20 e 72,10 m^{-2} $ciclo^{-1}$ respectivamente.

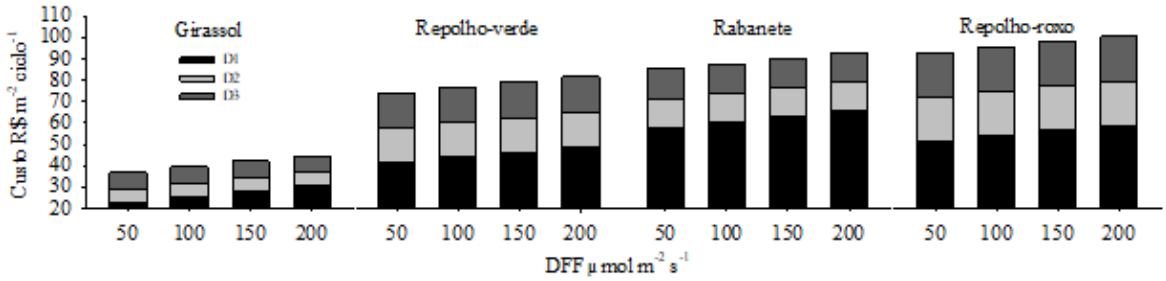


Figura 9 - Custo em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) e de semeadura (g m^{-2}), para girassol (1275 D1, 1700 D2, 2125 D3), repolho-verde e roxo (126 D1, 180 D2, 235 D3) e rabanete (272 D1, 340 D2, 408 D3). Cotação por kg da semente R$ 15,00 – girassol; R$ 200,00 – rabanete; R$ 300,00 – Repolho-verde e R$ 380,00 repolho-roxo. Tarifa energia elétrica R$ 0,52 Kwh, cotação de 02/02/2022.

Sendo assim, se hipoteticamente o microverde for comercializado pelo produtor a R$ 50,00 o kg, com a produtividade obtida no presente estudo (7,9; 5,2; 4,4 e 3 kg m^{-2}) obtêm-se por m^{-2}, receita bruta de R$ 395,00; 260,00; 220,00 e 150,00, para girassol, rabanete, repolho-verde e roxo e receita liquida de R$ 365,80; 174,70; 145,80; e 77,90 (considerando apenas o custo com iluminação e sementes, nas cotações presentes na Figura 11). No presente estudo não foi avaliado o custo de investimento por m^2 de área produtiva.

Em relação entre o custo com energia elétrica para fornecimento de DFFF e o custo com sementes, observou-se que o item que apresenta maior participação no custo é a semente. A participação da DFFF no presente estudo variou entre 4 e 20 % nos melhores tratamentos para as *Brassicas* e girassol respectivamente.

Conclusões

Com aumento da DFFF não houve aumento da produtividade e qualidade de microverdes de girassol, rabanete e relho-roxo, sendo o repolho-verde exceção com maior produtividade em 158 μmol m^{-2} s^{-1}, no entanto com redução da eficiência do uso dos fótons, não justificando sua adoção, considerado, portanto, 50 μmol m^{-2} s^{-1} melhor resultado. Com o aumento da densidade de semeadura (DS) houve aumento da produtividade de todas as espécies estudadas, sendo que, para os microverdes de girassol e repolho-roxo até a DS intermediária de 1700 e 180 g m^{-2} já e para o rabanete e repolho-verde até a maior DS 408 e 235 g m^{-2}. O aumento da DS ocasionou a redução dos teores de carotenoides, clorofila *a*, clorofila *b* e antocianina dos microverdes de girassol, rabanete e repolho-verde, exceto para repolho-roxo que apresentou aumento dos teores de antocianina na maior DS 235 g m^{-2}.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado do primeiro autor.

Referências

Allred, J., Mattson, N. (2018). Growing better greenhouse microgreens in under control: tips for controlled environment growing. Greenhouse Product News, Vegetable Growers News, 10 - 13.

Benke, K., Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture, Sustainability: Science, Practice and Policy, 13, 13-26.

Brazaitytė, A., Sakalauskiene, S., Samuoliene, G., Jankauskiene, J., Virsile, A., Novickovas, A., Sirtautas, R., Miliauskiene, J., Vaštakaitė, V., Dabasinskas, L., Duchovskis, P. (2015). The effects of LED illumination spectra and intensity on carotenoid content in Brassicaceae microgreens. Food Chem. 173, 600 - 606.

Ciuta, F., Arghir, L. D., Tudor, C. A., Viorica, L. L. (2020) Research on microgreens farming in vertical hydroponic system. Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology, 24, 27 - 34.

Craver, J. K., Gerovac, J. R., Lopez, R. G. (2017). Light intensity and light quality from sole-source light-emitting diodes Impact Phytochemical Concentrations within Brassica Microgreen. J. AMER. SOC. HORT. SCI, 142, 3 - 12.

Di Gioia, F., Santamaria, P. (2015). Microgreens novel fresh and functional food to explore all the value of biodiversity. South African Journal of Botany,106, 250.

Fedoroff, N. V. (2015). Food in a future of 10 billion. Agric & Food Secur, 11, 1 - 10.

Fu W., Li P., Wu Y., Tang J., Effects of different light intensities on anti-oxidative enzyme activity, quality and biomass in lettuce, Hort. Sci., 2012, 39, 129 - 134.

Fu, W., Li, P., Wu, Y. (2012). Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. Scientia Horticulturae, 135, 45 - 51.

Gerovac, J. R., J. K. Craver, J.K. Boldt., R.G. Lopez. (2016). Light intensity and quality from sole-source light-emitting diodes impact growth, morphology, and nutrient content of brassica microgreens. HortScience, 51, 497 - 503.

Ghoora, M. D., Babub, D. R., N. Srividyaa. (2020). Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens. Journal of Food Composition and Analysis, 91, 103495.

Ilieva, I., Ivanova, T., Naydenov, Y., Dandolov, I., Stevanov D. (2010). Plant experiments with light-emitting diode module in Svet space greenhouse. Adv. Space Res, 46, 840 - 845.

Jones-Baumgardt, C., Llewellyn, D., Zheng, Y. (2020). Different Microgreen Genotypes Have Unique Growth and Yield Responses to Intensity of Supplemental PAR from Light-emitting Diodes during Winter Greenhouse Production in Southern Ontario, Canada. Hortscience, 55, 156 - 163.

Jones-Baumgardt, C., Llewellyn, D., Ying, Q., Zheng, Y. (2019). Intensity of Sole-source Light-emitting Diodes Affects Growth, Yield, and Quality of Brassicaceae Microgreens. Hortscience, 54, 1168 - 1174.

Kopsell, D. A., Pantanizopoulos, N., Sams, C. E., Kopsell, D. E. (2012). Shoot tissue pigment levels increase in 'Florida Broadleaf' mustard (Brassica juncea L.) microgreens following high light treatment. Scientia Horticulturae, 140, 96 - 99.

Kopsell, D.A., C.E. Sams., R.C. Morrow. (2015). Blue wavelengths from LED lighting increase nutritionally important metabolites in specialty crops. HortScience 50,1285 - 1288.

Kozai, T., Niu, G. Role of the plant factory with artificial lighting (PFAL) in urban áreas. In: Plant Factory. 2. Ed. **Academic Press**, 2020, 7 - 34.

Kyriacou, M. C., Rouphael, Y., Di Gioia, F., Kyratzis, A., Serio, F., Renna, M., Pascale, S., Santamaria, P. (2016). Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. Trends in Food Science e Technology, 57, 103 - 115.

Lobiuc, A., Vasilache, V., Pintilie, O. T. Stoleru, M. B., Oroian, M., Zamfirache, M. (2017). Blue and red LED illumination improves growth and bioactive compounds contents in acyanic and cyanic Ocimum basilicum L. Molecules, 22, 2111.

Mlinaric, S., Gvozdic, V., Vukovic, A., Varga, M., Vlašicek, I., Cesar, V., Lidija Begovic. (2020). The Effect of Light on Antioxidant Properties and Metabolic Profile of Chia Microgreens Appl. Sci, 10, 5731.

Morrow, R. C. (2008) LED lighting in horticulture. HortScience, 43, 1947 - 1950.

Murphy, C., Pill, W. (2010) Cultural practices to speed the growth of microgreen arugula roquette; Eruca vesicaria subsp. sativa), The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 85, 171 - 176.

Pattison, P. M., Brainard, G. C., Bugbee, B. (2018). LEDs for photons, physiology and food. Nature, 563, 493 - 500.

Pinto, E., Almeida, A. A., Aguiar, A. A., Ferreira, I. M. (2015) Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. Journal of Food Composition and Analysis, 37, 38 - 43.

Purquerio, L. F. V., Moraes, C. C., Factor, T. L., Calori, A. H. Bioeconomia: Promoção da horticultura urbana do século XXI. Boletim Técnico-Informativo do Instituto Agronômico. v. 70, p. 6 -18, 2018.

Renna, M., Di Gioia, F., Leoni, B., Mininni, C., Santamaria, P. (2016). Culinary assessment of self-produced microgreens as basic ingredients in sweet and savory dishes. Journal of Culinary Science & Technology, 126 - 142.

Samuoliene, G., A. Brazaitytė, J. Jankauskiene, A. Virsile, R. Sirtautas, A. Novickovas, S. Sakalauskiene, J. Sakalauskaite., P. Duchovskis. (2013). LED irradiance level affects growth and nutritional quality of brassica microgreens. Central Eur. J. Biol, 8, 1241 - 1249.

Samuoliene, G., Brazaityte, A., Viršile., A., Miliauskiene, J., Kairiene, V. V., Duchovskis, P. (2019). Nutrient Levels in Brassicaceae Microgreens Increase Under Tailored Light-Emitting Diode Spectra. Front. Plant Sci, 10, 1475.

Sims, D.A., Gamon, J.A. (2002). Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. Remote Sensing of Environment, 81, 337 - 354.

Sun, J., Kou, L., Geng, P., Huang, H., Yang, T., Luo, Y., Chen, P. (2015). Metabolomic Assessment Reveals an Elevated Level of Glucosinolate Content in CaCl2 Treated Broccoli Microgreens. J. Agric. Food Chem, 63, 1863 - 1868.

Treadwell, D. D., Hochmuth, R., Landrum, L., Laughlin, W. (2020). View of Microgreens: A New Specialty Crop. EDIS.

Vastakaitė, V., Virsile, A. (2015a). Light-emitting diodes (LEDs) for higher nutritional quality of Brassicaceae microgreens. Research for Rural Development, Latvia University for Rural Development, 1, 111 - 117.

Vastakaitė, V., ViršilĖ, A., Brazaitytė, A., Samuolienė, G., Jankauskienė, J., Sirtautas, R., Novičkovas, A., Dabašinskas, L., Sakalauskienė, S., Miliauskienė, J., Duchovskis, P. (2015b).

The effect of blue light dosage on growth and antioxidant properties of microgreens. Scientific Works of the Institute of Horticulture, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry and Aleksandras Stulginskis University. Sodininkystė ir daržininkystė, 34, 25 - 35.

Verlinden, S. (2020). Microgreens: Definitions, Product Types, and Production Practices. Horticultural Reviews, 47, 85 - 124.

Virsile, A., Sirtautus, R, (2013). Light irradiance level for optimum growth and nutrient contents in borage microgreens. Proc. Intl. Sci. Conf, Rural Devel, 272 - 275.

Xiao Z., Lester G.E., Luo Y., Wang Q. (2012) Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens, J. Agric. Food. Chem, 60, 7644 - 7651.

Xiao, Z., Luo, Y., Lester, G. E., Kou, L., Yang, T., Wang, Q. (2014). Postharvest quality and shelf life of radish microgreens as impacted by storage temperature, packaging film, and chlorine wash treatment. LWT - Food Science and Technology, 55, 551 - 558.

Xiao, Z., Lester, G. E., Park, E., Saftner, R. A., Luo, Y., Wang, Q. (2015). Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens. Postharvest Biol. Tec. 110, 140 - 148.

Yeh, N., Chung, J. P. (2009). High-brightness LEDs—Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 2175 - 2180.

Ying, Q., Kong, Y., Baumgardt, C. J., Zheng, y. (2020). Responses of yield and appearance quality of four Brassicaceae microgreens to varied blue light proportion in red and blue light-emitting diodes lighting. Scientia Horticulturae., 259, 108857.

Zepka, L.Q., Jacob-Lopes., E., Roca, M (2019). Catabolism and bioactive properties of chlorophylls. Curr. Opin. Food Sci, 26, 94 - 100.

4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

No presente estudo foi observado, que o cultivo de microverde se adequa perfeitamente a ambientes de produção *indoor*. Pois, possibilita a obtenção de elevada produtividade, em curto espaço de tempo (10 dias), com baixa demanda por fótons. Características que somadas a seu valor comercial, torna uma alternativa viável de baixo impacto ambiental para produção urbana de alimentos de elevado valor nutricional.

As dimensões do microverde (< 10 cm), entre outras espécies e produtos, favorece a verticalização do cultivo, transformando o cultivo em um plano para diversos planos. Com metros cúbicos em detrimento de metros quadrados, ficou potencializado o aproveitamento da área, como observado no presente estudo, onde 0,5 m^{-2} em um plano foi substituído por 3 m^{-2} de área produtiva verticalizados (30 cm entre vãos da estante), devido a utilização de 6 andares (Figura 12 anexos). Ressalta-se que com estrutura adequada, existe a possibilidade de se fazer o emprego de número de andares ainda maior, que o utilizado no presente estudo.

A iluminação artificial somada a verticalização, abre, portanto, novo leque de possibilidades para a agricultura, não existentes a uma década atrás. Junto as possibilidades surgem questionamentos, a respeito de como extrair o máximo de aproveitamento destas tecnologias. Ponto inicial para diferentes pesquisas científicas, como a do presente estudo, que identificou resposta produtiva satisfatória com o emprego de apenas 50 μmol m^{-2} s^{-1}, valor 40 vezes inferior a radiação em campo aberto, o que corrobora para união entre a produção de microverde e ambientes de produção *indoor*.

Ainda se tem pouco respaldo científico de como deve ser efetuado o fornecimento dos fótons, pois como observado no presente estudo, a fase escura do ciclo representa entre 40 e 50 % da duração total, e as plântulas recebem forte contribuição das reservas da semente (autotrófica), o que abre possibilidade para estudos, com a introdução progressiva do DFFF, ou então com manejos do fotoperíodo, com mesmo ou diferente integral de fótons, ou então a exposição dos microverdes em curta duração a elevada DFFF.

No que tange a densidade de semeadura (DS), foi observado no presente estudo, impacto relevante na produtividade e qualidade dos microverdes, resultado que ressalta a necessidade de se refinar as recomendações, a fim de garantir menor custo de produção, já que as sementes têm maior participação impactante no custo (80 %), quando considerado apenas DS e DFFF. Novas pesquisas com ênfase em diferentes espécies, capaz de nortear qual DS deve ser empregada, já que os resultados obtidos variaram de acordo com a espécie.

Como foi constatado, plena capacidade de produção vertical *indoor* de microverdes, pontua-se que, tal técnica, demostrou-se uma alternativa capaz de levar a produção de alimentos, para os espaços urbanos, porém, deve seguir sendo aprimorada.

ANEXOS

Material Suplementar

Tabela 6 - Experimento com girassol. Resultados da análise de variância para massa fresca (MF), massa seca (MS), conversão da massa semeada em massa fresca (MF/MSE), altura do dossel (AD), comprimento do hipocótilo (CH), comprimento transversal do cotilédone (CT) e comprimento longitudinal do cotilédone (CL), em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e densidade de semeadura 1275; 1700 e 2175 g m^{-2}.

Fonte de variação		QM						
		MF	MS	MF/MSE	AD	CH	CT	CL
Bloco	2	0,36158	97,39144	0,156219	1,1944	44,319158	0,797858	1,220311
DFFF	3	0,22979	50,829930	0,078470	2,2314	75,517358	4,931652	56,020897
Resíduo 1	6	1,704862	19,921619	0,579212	0,537037	64,212036	0,862588	14,0290394
DS	2	5,765025**	1818,712353**	8,290411	5,52778**	1011,39238**	27,075175**	101,141006**
Int. DFFF x DS	6	0,193395	43,733960	0,054204	0,398148	44,594886	0,498427	3,486732
Resíduo 2	16	0,180107	58,037600	0,056101	0,232639	34,760558	0,922781	3,680804
CV (a)		17,92	5,97	17,22	7,69	13,8	7,03	6,93
CV (b)		5,83	10,20	5,36	5,06	10,16	7,28	8,7
Média		7,285	74,7061	4,420	9,527	58,057	13,203	22,05

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

Tabela 7 - Experimento com girassol. Resultados da análise de variância para os teores de clorofila *a* (CL a), clorofila *b* (Cl b), antocianina (An), carotenoides (Ca), sólidos solúveis (Ss) e acidez titulável (At), em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e da densidade de semeadura 1275; 1700 e 2175 g m^{-2}**.**

Fonte de variação		QM						
		Cl *a*	Cl *b*	An	Ca	pH	Ss	At
Bloco	2	0,122	0,139	0,006	0,008	0	0,093	27,21
DFFF	3	0,5878	0,815	0,019	0,029	0,005	0,097	50,334
Resíduo 1	6	0,149	0,177	0,005	0,11	0,004	0,191	58,717
DS	2	2,419**	3,073**	0,063**	0,58**	0,003	1,890**	128,139
Int. DFFF x DS	6	0,018	0,028	0,002	0,010	0,003	0,0855	88,869
Resíduo 2	16	0,039	0,055	0,0043	0,008	0,004	0,125	55,534
CV (a)		17,7	15,95	9,76	15,38	1	13,11	8,61
CV (b)		9,1	8,9	8,85	12,74	0,98	10,6	8,37
Média		2,18	2,64	0,74	0,71	6,39	3,3	89,02

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

Tabela 8 - Experimento com rabanete. Resultados da análise de variância para massa fresca (MF), massa seca (MS), conversão da massa semeada em assa fresca (MF/MSE), altura do dossel (AD), comprimento do hipocótilo (CH), comprimento transversal do cotilédone (CT) e comprimento longitudinal do cotilédone (CL), em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e densidade de semeadura 272; 340 e 408 g m^{-2}.

Fonte de variação		QM						
		MF	MS	MF/MSE	AD	CH	CT	CL
Bloco	2	0,2344	160,982636	2,772948	0,063611	92,114253	5,481853	36,921669
DFFF	3	0,1174	1607,405351	1,251697	2,432130*	75,607758	5,464741	63,355367*
Resíduo 1	6	0,0709	489,366729	0,655537	0,221019	117,727131	4,944538	13,018314
DS	2	8,6577*	10739,861253*	9,222903*	0,555278*	169,453611	43,593919*	81,836553**
Int, DFFF x DS	6	0,0232	220,306890	0,243335	0,634907*	30,605556	41,655771*	53,704653**
Resíduo 2	16	0,0362	351,433776	0,362823	0,156667	54,263274	11,576862	10,686990
CV (a)		6,11	12,23	6,09	4,37	17,87	12,56	11,40
CV (b)		4,37	10,36	4,53	3,68	12,13	19,22	10,33
Média		4,3576	180,9269	13,3	10,76	60,72	17,70	31,65

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

Tabela 9 - Experimento com rabanete. Resultados da análise de variância para os teores de clorofila *a* (CL *a)*, clorofila *b* (Cl *b*), antocianina (An), carotenoides (Ca), sólidos solúveis (Ss) e acidez titulável (At), em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e da densidade de semeadura 272; 340 e 408 g m^{-2}.

Fonte de variação		QM						
		Cl a	Cl b	Ant	Ca	pH	°Brix	Att
Bloco	2	0,115208	0,133103	0,008325	0,003144	0,021111	0,030011	308,781475
DFFF	3	0,507781	0,611632	0,038906	0,023411	0,006667	0,009641	128,980815
Resíduo 1	6	0,350423	0,427610	0,014273	0,012400	0,008889	0,008974	92,842268
DS	2	2,950675*	3,612136**	0,055633*	0,066344*	0,091944**	0,018678	104,824108
Int, DFFF x DS	6	0,565956	0,682344	0,012570	0,014589	0,007500	0,008752	378,176145*
Resíduo 2	16	0,307044	0,373879	0,011224	0,012053	0,012778	0,007900	124,184619
CV (a)		16,32	16,61	11,78	18,38	1,46	4,72	7,19
CV (b)		15,27	15,53	10,45	17,14	1,75	4,43	8,32
Média		3,6283	3,93	1,0141	0,640	6,444	2,0061	133,9733

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

Tabela 10 - Experimento com repolho-verde. Resultados da análise de variância para massa fresca (MF), massa seca (MS), conversão da massa semeada em massa fresca (MF/MSE), altura do dossel (AD), comprimento do hipocótilo (CH), comprimento transversal do cotilédone (CT) e comprimento longitudinal do cotilédone (CL), em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e densidade de semeadura 125; 180 e 235 g m^{-2}.

Fonte de variação		QM						
		MF	MS	MF/MSE	AD	CH	CT	CL
Bloco	2	56548,332325	25,521744	1,781058	0,048611	10,276544	0,926744	2,186319
DFFF	3	267076,579699*	477,316167**	9,683359*	1,138889	36,350744	0,558358	3,757078
Resíduo 1	6	38644,474966	29,420433	1,006662	0,298611	37,489619	1,167278	1,898031
DS	2	6753479,427408	7906,911169**	58,777300**	0,256944	14,880178	3,755411**	20,437203*
Int, DFFF x DS	6	35854,154149	102,830036	1,968215*	0,534722*	40,281130	0,555100	1,887636
Resíduo 2	16	15623,811401	42,311274	0,416515	0,152778	38,876654	0,235628	2,347957
CV (a)		5,3	4,11	4,78	4,98	9,01	13,86	9,51
CV (b)		3,37	4,93	3,07	3,56	9,17	6,23	10,57
Média		3705,7025	132,0627	20,9950	10,9722	67,9936	7,7952	14,4905

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

Tabela 11 - Experimento com repolho-verde. Resultados da análise de variância para os teores de clorofila *a* (CL *a)*, clorofila *b* (Cl *b*), antocianina (An), carotenoides (Ca), sólidos solúveis (Ss) e acidez titulável (At), em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e da densidade de semeadura 125; 180 e 235 g m^{-2}.

Fonte de variação		QM						
		Cl a	Cl b	Ant	Ca	pH	°Brix	Att
Bloco	2	0,139386	0,197303	0,024844	0,013408	0,000833	0,005833	27,218608
DFFF	3	0,213529	0,277737	0,019767	0,009144	0,003333	0,003981	50,334374
Resíduo 1	6	0,200812	0,254729	0,022311	0,008271	0,001944	0,005093	58,717194
DS	2	9,031144	11,983086	0,209536	0,432408	0,015833**	0,005833	128,139508
Int, DFFF x DS	6	0,686215*	0,863923*	0,035825*	0,026694	0,003611*	0,011759*	88,869771
Resíduo 2	16	0,176685	0,224406	0,008778	0,007951	0,000833	0,003194	55,534735
CV (a)		12,81	13,07	12,27	13,97	0,67	3,64	8,61
CV (b)		12,02	12,27	7,7	13,7	0,44	2,89	8,37
Média		3,4980	3,8605	1,2172	0,6508	6,5833	1,9583	89,025

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

Tabela 12 -. Experimento com repolho-roxo. Resultados da análise de variância para massa fresca (MF), massa seca (MS), conversão da massa semeada em massa fresca (MF/MSE), altura do dossel (AD), comprimento do hipocótilo (CH), comprimento transversal do cotilédone (CT) e comprimento longitudinal do cotilédone (CL), em função da densidade do fluxo de fótons fotossintétcos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e densidade de semeadura 125; 180 e 235 g m^{-2}.

Fonte de variação		QM						
		MF	MS	MF/MSE	AD	CH	CT	CL
Bloco	2	0,003599	408,735325	0,647436	0,750000	38,427008	1,040969	2,290311
DFFF	3	0,539588	715,234099	13,573711	1,287037	43,698810	2,246166	7,646522
Resíduo 1	6	0,169990	755,373144	4,395425	0,731481	43,876105	0,552121	2,930356
DS	2	2,375594	25853,637475	93,832969	5,020833*	78,328358**	3,534011*	13,383936
Int, DFFF x DS	6	0,331804	253,168794	8,504125	1,724537	85,280988	0,858085	1,520247
Resíduo 2	16	0,372932	699,779197	9,951128	0,819444	58,237835	0,845817	1,819069
CV (a)		14,77	17,44	13,1	8,77	11,39	8,72	11,44
CV (b)		21,88	16,79	19,71	9,28	13,12	10,79	9,02
Média		2,79	157,5725	16	9,75	58,16	8,523	14,96

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

Tabela 13 - Experimento com repolho-roxo. Resultados da análise de variância para os teores de clorofila *a* (CL *a)*, clorofila *b* (Cl *b*), antocianina (An), carotenoides (Ca), sólidos solúveis (Ss) e acidez titulável (At), em função da densidade do fluxo de fótons fotossintéticos DFFF 50; 100; 150 e 200 μmol m^{-2} s^{-1} e da densidade de semeadura 125; 180 e 225 g m^{-2}.

Fonte de variação		QM						
		Cl a	Cl b	Ant	Ca	pH	°Brix	Att
Bloco	2	2,574186	3,573253	0,760103	0,269558	0,014444	0,223333	809,509378
DFFF	3	2,249559	1,994292	0,136040	0,018484	0,018056	0,034352	1257,645870
Resíduo 1	6	0,792445	0,902031	0,472384	0,021206	0,007778	0,099630	288,574215
DS	2	1,571836	1,374811	9,730536**	0,032808*	0,053611**	1,025833**	1275,990469
Int, DFFF x DS	6	1,017451	1,512911	0,529695	0,074290	0,005833	0,182130	639,019629
Resíduo 2	16	0,829489	0,843911	0,368714	0,050257	0,006528	0,078472	226,569335
CV (a)		26,55	25,24	18,16	21,87	1,42	13,02	16,83
CV (b)		27,16	24,41	16,04	33,67	1,30	11,55	14,91
Média		3,3527	3,7636	3,7847	0,6658	6,2305	2,425	100,9372

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

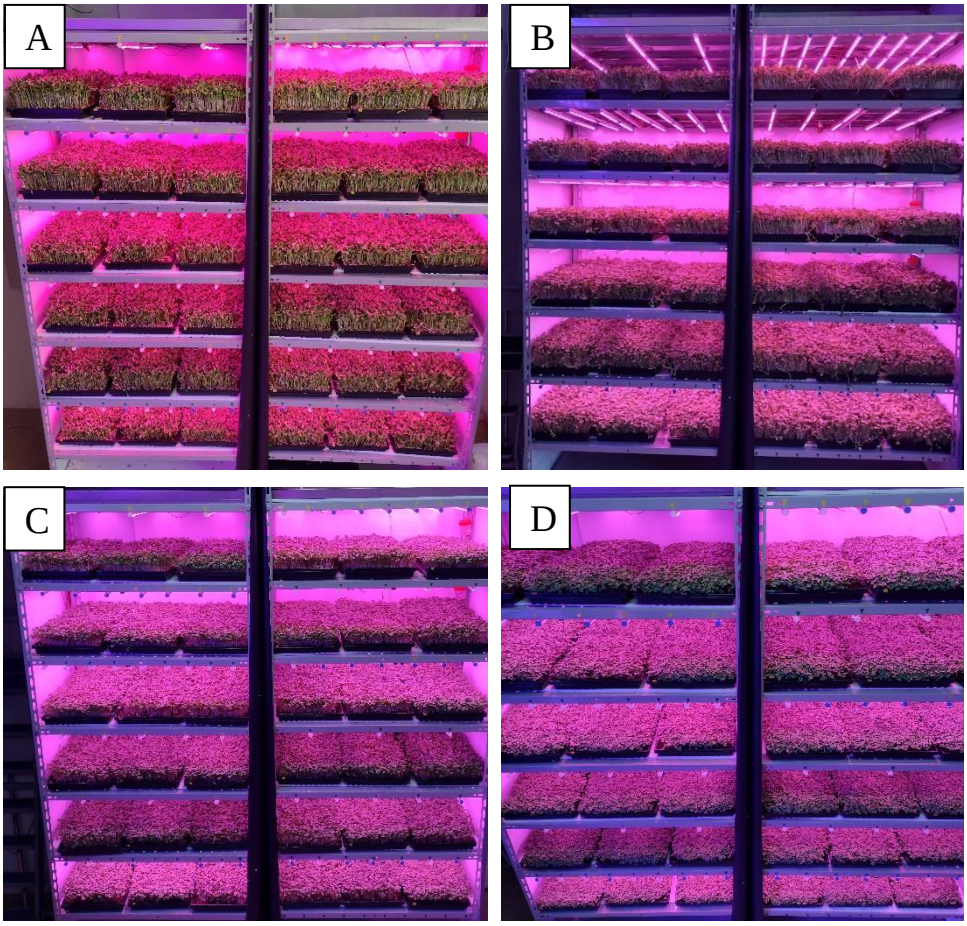


Figura 12 – Estante de cultivo com luminárias LED instaladas. Presente em cada câmara três bandejas de cultivos de microverdes com as espécies: girassol (A), rabanete (B), repolho-verde (C) e repolho-roxo (D).

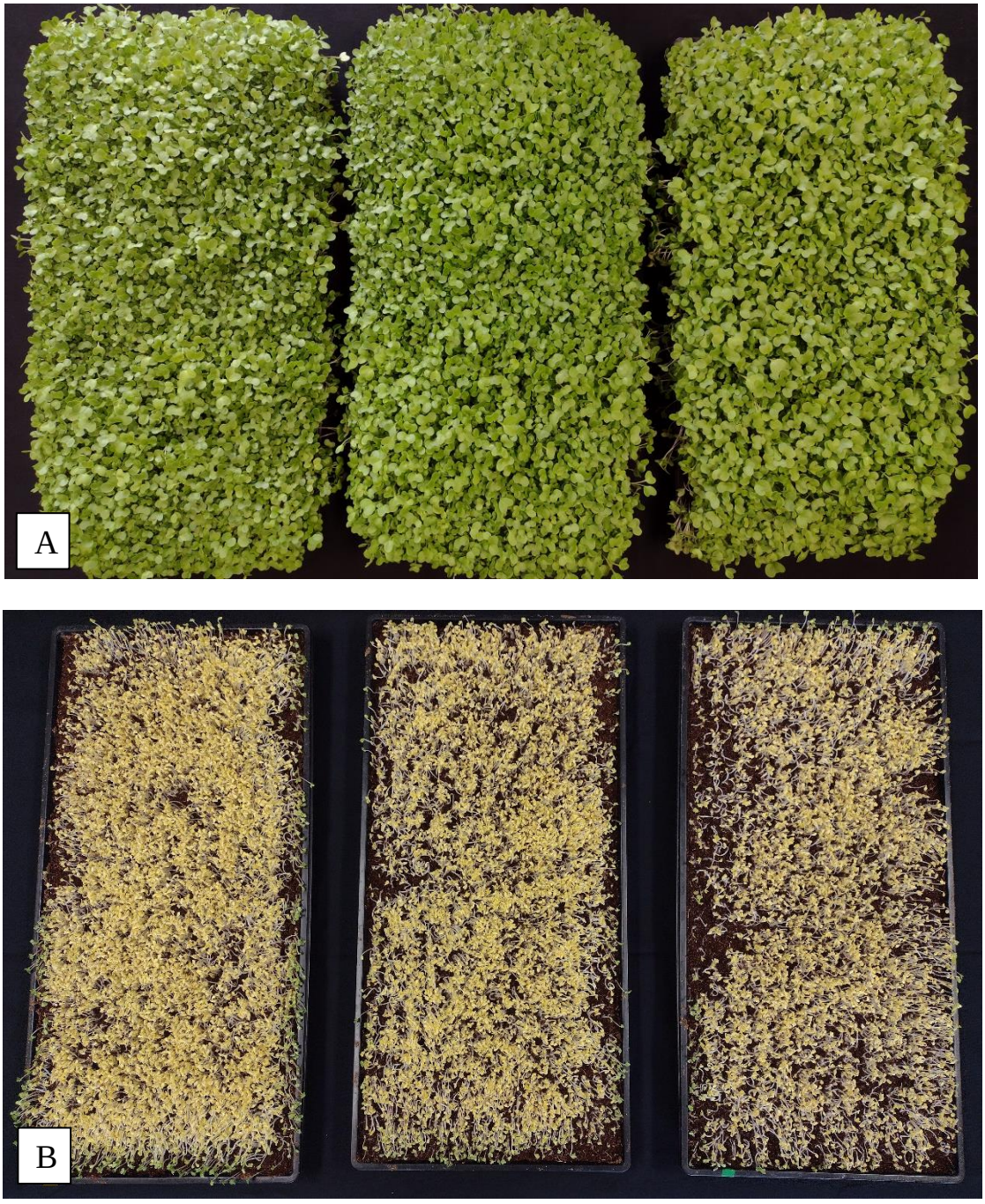


Figura 13 – Bandejas de microverde de repolho-verde no ponto de colheita (A) e na transição entre a fase escura e clara do ciclo, captura da imagem logo após o desempilhamento (B).