

Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Suplementação luminosa com lâmpadas LED na produção de microverdes em  
ambiente protegido

**Isabela Scavacini de Freitas**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestra em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba  
2020



Isabela Scavacini de Freitas  
Engenheira Agrônoma

**Suplementação luminosa com lâmpadas LED no cultivo de microverdes em ambiente  
protegido**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:

Profa. Dra. **SIMONE DA COSTA MELLO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestra em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba  
2020

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Freitas, Isabela Scavacini de

Suplementação luminosa com lâmpadas LED no cultivo de microverdes em ambiente protegido / Isabela Scavacini de Freitas. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2020.

53 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Antioxidantes 2. Fluorescência de clorofilas 3. Carotenoides 4. Luz azul 5. Luz vermelha 6. Imagens multiespectrais I. Título

## DEDICATÓRIA

**Aos meus pais, Gisleine e Segirson, e irmãos, Gabriela e Vítor, que tanto me apoiam nos momentos em que mais preciso.**

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Segirson de Freitas Junior e Gisleine Vaz Scavacini de Freitas, que são a minha fortaleza, por terem me dado a vida e me criado com tanto amor e carinho;

À toda minha família pelo suporte, incentivo, consideração, amor e bons momentos nessa caminhada do mestrado;

À minha orientadora Profa. Dra. Simone da Costa Mello pelo apoio, amizade e orientação desde a graduação;

Aos membros da graduação e pós-graduação do GEPOL nos anos de 2018 e 2020, em especial Walleska Torsian, Fernando Silveira, Alessandro Sabino, Antônio Pereira, Vivyan Conceição e Rafael (mano), pelo apoio, dedicação e amizade;

Aos meus amigos de dentro e de fora da ESALQ que ajudaram essa caminhada a ser mais leve;

À empresa Isla pela doação das sementes e recursos para as análises bioquímicas;

À empresa Itaim pela doação das lâmpadas LED;

À empresa MightyGreens pelo estágio, por todo o aprendizado que obtive e pelo apoio;

À empresa Hidrogood pelo empréstimo das mesas de germinação;

À Dra. Clíssia Barbosa pelo empréstimo dos equipamentos SeedReporter e VideoMeterLab, e auxílio nas análises de imagens;

Ao Dr. Marcos Trevisan pelo auxílio nas análises de ácido ascórbico e ao Laboratório de Pós-Colheita de Plantas Hortícolas do Prof. Ângelo Jacomino por permiti-las;

À Ms. Bruna Trennepohl pelo auxílio nas análises bioquímicas de pigmentos e ao Laboratório de Fisiologia e Bioquímica Pós-Colheita do Prof. Alfredo Kluge por torná-las possíveis;

À CAPES pela bolsa PROEX concedida para realização do mestrado.

## EPÍGRAFE

*“Se as coisas são inatingíveis... ora!  
Não é motivo para não querê-las...  
Que tristes os caminhos, se não fora  
A presença distante das estrelas!”*

*Mário Quintana*

## SUMÁRIO

RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	9
LISTA DE SÍMBOLOS .....	10
1. INTRODUÇÃO .....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1. Potencial comercial e nutracêutico dos microverdes .....	13
2.2. Produção de microverdes .....	14
2.3. Tecnologia LED .....	15
2.4. Efeitos da luz na concentração de pigmentos e antioxidantes .....	16
2.5. Imagens multiespectrais na análise de componentes em amostras .....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	19
3.1. Experimentos de campo .....	19
3.2. Avaliações .....	23
3.3. Análise Estatística .....	26
4. RESULTADOS .....	27
4.1. Biometria .....	27
4.2. Teores de nutrientes .....	28
4.3. Colorimetria dos cotilédones .....	29
4.4. Pigmentos .....	30
4.5. Antioxidantes .....	32
4.6. Análise de imagens .....	33
5. DISCUSSÃO .....	37
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	41
REFERÊNCIAS .....	43
APÊNDICES .....	49



## RESUMO

### ***Suplementação luminosa com lâmpadas LED no cultivo de microverdes em ambiente protegido***

As respostas morfofisiológicas podem variar em decorrência de diferentes intensidades e qualidades luminosas de acordo com o genótipo e as condições de cultivo, interferindo na produtividade e na qualidade nutricional, sendo necessárias mais pesquisas relacionadas a este assunto. Assim, o intuito deste trabalho foi verificar a influência da intensidade e da qualidade da luz no cultivo de microverdes de coentro, manjeriço-verde, manjeriço-roxo e repolho-roxo. Os microverdes foram cultivados em três ambientes em casa-de-vegetação: sem suplementação luminosa (controle); com suplementação luminosa a partir de conjunto de barras de LED com 87,5 % de luz vermelha (660 nm) e 12,5 % de luz azul (445 nm) (LED1); e com suplementação luminosa com conjunto de barras de LED com 75 % de luz vermelha (645 nm) e 25 % de luz azul (459 nm) (LED2). Foram analisados o comprimento dos hipocótilos; produtividade; teores de massa fresca e seca, clorofilas, carotenoides, antocianinas, quercetina, ácido ascórbico, macro e micronutrientes; colorimetria; índice de clorofilas (ChlIdx) e antocianinas (AriIdx) dos cotilédones, reflectância das plântulas (365-970 nm), eficiência do fotossistema II (Fv/Fm) e fluorescência de clorofilas (Chl) a 630, 645, 660 e 710 nm por meio de imagens multiespectrais. A suplementação luminosa aumentou os teores de antioxidantes em microverdes de coentro. O conjunto LED2 foi o que gerou plântulas de coentro mais nutritivas, uma vez que obtiveram as maiores concentrações de ácido ascórbico, Mg, Fe e Zn, e não diminuiu outros minerais importantes para a alimentação humana. Microverdes de manjeriço-roxo responderam positivamente à suplementação luminosa com o conjunto LED1, devido à maior síntese de antocianinas nas folhas cotiledonares e maiores teores de P, S, Fe, Zn e ácido ascórbico. A suplementação luminosa com o conjunto LED2 aumentou a produtividade de microverdes de manjeriço-verde, bem como os teores de K, B, Cu, Fe, Mn e Zn, e a Fv/Fm. A suplementação luminosa com LED1 e LED2 não foi eficiente para aumentar a qualidade nutricional de microverdes de repolho-roxo. As respostas dos microverdes à suplementação luminosa empregada neste estudo são dependentes das características morfofisiológicas e genéticas que influenciam na síntese e degradação de pigmentos e antioxidantes, na eficiência do aparato fotossintético e nos teores de minerais e massa.

Palavras-chave: Antioxidantes, Fluorescência de clorofilas, Carotenoides, Luz azul, Luz vermelha, Imagens multiespectrais

## ABSTRACT

**Supplemental lighting with LED lamps in microgreens grown in greenhouse**

Morphophysiological responses may vary as a result of different light intensities and light qualities according to the plant genotype and growth conditions, interfering in yield and nutritional quality, requiring more research related to this subject. Thus, the aim of this dissertation was to verify the influence of light intensity and quality in the growth of cilantro, green basil, purple basil and red cabbage microgreens. The microgreens were grown in three different environments in a greenhouse: without light supplementation (control); with light supplementation by LEDs with 87.5 % red light (660 nm) and 12.5 % blue light (445 nm) (LED1); and light supplementation by LEDs with 75 % red light (645 nm) and 25 % blue light (459 nm) (LED2). Both color of cotyledon leaves and hypocotyl length were measured, as well as fresh and dry matter rates, chlorophylls, carotenoids, anthocyanins, quercetin, ascorbic acid, macro and micronutrients levels. Chlorophyll index (ChlIdx) and anthocyanin index (AriIdx) of plant cotyledones, plant reflectance (365-970 nm), photosystem II efficiency (Fv/Fm) and chlorophyll fluorescence (Chl) at 630, 645, 660 and 710 nm were obtained by multispectral imaging analysis. LED2 nutritionally enriched cilantro microgreens, since they obtained the highest concentrations of ascorbic acid, Mg, Fe and Zn, and did not decrease other important minerals for human nutrition. Purple basil microgreens positively responded to light supplementation by LED1 due to the greater anthocyanin synthesis in cotyledon leaves and the higher levels of P, S, Fe and Zn in relation to the other environments, and greater ascorbic acid content in relation to control. Supplemental lighting with LED2 increased the yield, the levels of K, B, Cu, Fe, Mn and Zn, and the Fv/Fm of green basil microgreens. LED1 e LED2 were not efficient to increase both the nutritional quality and appearance of red cabbage microgreens. Microgreens responses to supplemental lighting depends on morphophysiological and genetic characteristics which influence on pigment and antioxidant synthesis and degradation, the efficiency of the photosynthetic apparatus, the rates of minerals and on biometric characteristics.

Keywords: Antioxidant, Chlorophyll fluorescence, Carotenoids, Blue light, Red light, Multispectral imaging

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a* – coordenada variando do verde ao vermelho	h° – Ângulo hue
AriIdx – Índice de antocianinas	HCl – Ácido clorídrico
B – Boro	K – Potássio
b* – Coordenada variando do azul ao amarelo	KCl – Cloreto de Potássio
C* – Croma	L* – Luminosidade
Ca – Cálcio	LED – Light emitting diode (diodo emissor de luz)
CCD – Dispositivo de carga acoplada	LED1 – Suplementação luminosa com lâmpadas de LED com 12,5 % da intensidade luminosa no espectro do azul (pico em 445 nm) e 87,5 % do espectro do vermelho (pico em 660 nm)
Chl <sub>630</sub> – Fluorescência de clorofilas a 630 nm	LED2 – Suplementação luminosa com lâmpadas de LED com 25 % da intensidade luminosa no espectro do azul (pico em 459 nm) e 75 % do espectro do vermelho (pico em 640 nm)
Chl <sub>645</sub> – Fluorescência de clorofilas a 645 nm	Mg – Magnésio
Chl <sub>660</sub> – Fluorescência de clorofilas a 660 nm	Mn – Manganês
Chl <sub>710</sub> – Fluorescência de clorofilas a 710 nm	Mo – Molibdênio
ChlIdx – Índice de clorofilas	N – Nitrogênio
CLAE – Cromatografia líquida de alta eficiência	nCDA – Discriminação canônica normalizada
CLAE - DAD – Cromatografia líquida de alta eficiência com detector do tipo arranjo de diodos	NIR – Infravermelho próximo
CO <sub>2</sub> – Dióxido de carbono	P – Fósforo
Cu – Cobre	PAR – Photosynthetic active radiation (radiação fotossinteticamente ativa)
DLI – Day light integral (luz diária integral)	S – Enxofre
DMSO – Dimetilsulfóxido	Se – Selênio
DPPH – 2,2-difenil-1-picril-hidrazil	UV-A – luz ultravioleta
F0 – Fluorescência mínima	V/VE – Relação entre luzes no espectro do vermelho visível e no espectro do vermelho extremo
Fe – Ferro	Zn – Zinco
FIR – Infravermelho distante	
Fm – Fluorescência máxima	
Fv – Fluorescência variável	
Fv/Fm – Eficiência do fotossistema II	

## LISTA DE SÍMBOLOS

°C – Graus Celsius

cm – Centímetros

cm<sup>2</sup> – Centímetros quadrados

dS m<sup>-1</sup> – Decisiemens por metro

g – Gramas

g kg<sup>-1</sup> – Gramas por quilo

mg 100 g<sup>-1</sup> – Miligramas por cem gramas

mg kg<sup>-1</sup> – Miligramas por quilo

mL – Mililitros

mM – Milimolar

mols m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> – Moles por metro quadrado por dia

Mp – Megapixels

nm – Nanômetro

N – Normalidade

ppm – Partes por milhão

rpm – Rotações por minuto

v/v – Proporção entre soluto e solução

≈ – Aproximadamente

μm – Micrômetro

μHg – Microns de mercúrio

μmols m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> – Micromoles por metro quadrado por segundo

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a produção agrícola mundial tem que cumprir fortes exigências dos mercados. Além do apelo para a utilização de sistemas mais eficientes que visam otimizar o uso de recursos e mão-de-obra, os consumidores estão cada vez mais exigentes quanto às questões de qualidade, inocuidade, aparência, sabor, valor nutritivo e certificação do processo produtivo. Ademais, estima-se que dois bilhões de pessoas no mundo são afetadas pela fome oculta, ou seja, deficiência crônica de minerais e vitaminas essenciais para o corpo humano (WHO, 2009). Dessa forma, a Organização Mundial da Saúde recomenda um consumo diário de 400 g de frutas e hortaliças por pessoa para a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, uma vez que são ricas em fibras, minerais e compostos bioativos. Dessa forma, está sendo necessário o uso de técnicas que visam, além do aumento da produtividade, agregação de qualidades sensoriais e nutricionais ao produto para o combate da desnutrição e da fome oculta.

Assim, vem surgindo uma nova classe de alimentos especiais que vieram contribuir com a demanda do mercado de alimentos funcionais. Os microverdes de hortaliças, ervas aromáticas e leguminosas aptas ao consumo humano, são plantas na sua fase jovem, imaturas, poucos dias após a emergência, colhidas quando as folhas cotiledonares estão totalmente expandidas, com ou sem o aparecimento do primeiro par de folhas verdadeiras (XIAO et al., 2012). Além de suas características visuais agradáveis, como tamanho reduzido e cores vívidas que podem trazer harmonia à apresentação de pratos principais, possuem textura tenra e sabores mais intensos, sendo, portanto, também servidas como salada.

Os microverdes têm chamado atenção não somente de chefes de cozinha e apreciadores da culinária, mas também de pesquisadores das áreas de nutrição humana e da agronomia. Tem sido notado que as folhas jovens presentes em plântulas concentram maiores teores de fitonutrientes e compostos bioativos do que quando comparadas a folhas maduras (LESTER; HALLMAN; PÉREZ, 2010; OH; CAREY; RAJASHEKAR, 2010; XIAO et al., 2012). No entanto, como seu cultivo, comercialização e consumo são considerados recentes, as informações científicas ainda são escassas.

Uma das técnicas favoráveis tanto para o aumento da produtividade quanto da qualidade de plantas ornamentais e hortaliças e que tem crescido nos últimos anos é a utilização de lâmpadas com diodos emissores de luz, mais conhecidas como tecnologia LED. O emprego desta tecnologia tem influência direta na fisiologia e no metabolismo das plantas, estimulando a atividade fotossintética na faixa do espectro de luz adequado para muitas espécies vegetais de importância econômica, entre elas flores e hortaliças.

Em geral, o crescimento da planta em resposta ao ambiente é influenciado pela quantidade e qualidade da luz (DORAIS, 2003). Incrementos na fotossíntese líquida e no crescimento das plantas correlacionam-se com alta intensidade da luz, enquanto modificações na anatomia, fisiologia e morfologia aparecem com mudanças no espectro (qualidade) da luz disponível (FAN et al., 2013).

Estudos vêm mostrando que o uso de LEDs no cultivo de microverdes pode alterar suas características nutricionais, visto que é possível adequar a intensidade e qualidade da luz emitidas pelo LED ao estímulo que se pretende dar à planta. Uma intensidade de luz na faixa de 330 a 440  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  promove maior acúmulo de carotenoides em plântulas de pak-choi vermelha e tatsoi (BRAZAITYTE et al., 2015), enquanto que a luz no espectro do azul (470 nm) pode promover a síntese de  $\beta$ -caroteno e glucosinolatos em plântulas de brócolis (KOPSELL; SAMS, 2013), e a luz vermelha (638 e 665 nm) pode aumentar o teor de compostos fenólicos,  $\alpha$ -tocoferol, ácido ascórbico e a capacidade antioxidante do radical-livre DPPH em manjerição (SAMUOLIENĖ et al., 2016). Porém, a resposta metabólica das plantas em relação a esses comprimentos de onda pode variar conforme a espécie (SAMUOLIENĖ et

al., 2012a). Portanto, é necessário estudar o comportamento de outras espécies de hortaliças com alto potencial nutricional em vista a adição de luz nos espectros do azul e do vermelho, uma vez que podem ter suas qualidades nutricionais ainda mais aprimoradas e, dessa forma, contribuir para a alimentação humana.

O efeito da suplementação luminosa no cultivo de microverdes de repolho-roxo, manjeriço-verde, manjeriço-roxo e coentro, os quais são bastante ricos em nutrientes e compostos bioativos, ainda não foi avaliado. Além disso, até o presente momento, não há relatos de pesquisas científicas com suplementação luminosa com diferentes qualidades de luz em ambientes com alta incidência de radiação solar no cultivo de microverdes. Assim, o intuito deste trabalho é verificar a influência da intensidade e qualidade da luz nas respostas morfofisiológicas em microverdes de coentro, manjeriço-roxo, manjeriço-verde e repolho-roxo, com a hipótese de que a suplementação de luzes no espectro do azul e do vermelho gere uma heterogeneidade nos resultados de produtividade, fotossíntese e acúmulo de macro e micronutrientes, pigmentos e antioxidantes em função dos genótipos e da qualidade do espectro luminoso.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Potencial comercial e nutracêutico dos microverdes

Nos últimos vinte anos, a procura por alimentos frescos, funcionais e nutracêuticos tem aumentado, impulsionada pelo crescente interesse da sociedade na alimentação saudável (EBERT, 2012). Além de produtos que contribuam com a saúde e longevidade, os consumidores também estão à procura de alimentos que contribuam com o deleite gastronômico (DREWNOWSKI; GOMEZ-CARNEROS, 2000). Assim, tem surgido interesse por parte de produtores e pesquisadores no tocante ao desenvolvimento e divulgação de produtos que atendem à demanda desse nicho de mercado.

Os microverdes são uma nova classe de alimentos especiais que vieram atender a este mercado de alimentos funcionais e que vêm ganhando fama ultimamente. São definidos como vegetais imaturos tenros, produzidos a partir de sementes de hortaliças, ervas aromáticas, leguminosas e espécies silvestres (XIAO et al., 2012). As espécies mais cultivadas e apreciadas são aquelas pertencentes às famílias Brassicaceae, Asteraceae, Chenopodiaceae, Lamiaceae, Apiaceae, Amarillydaceae, Amaranthaceae e Cucurbitaceae (KYRIACOU et al., 2016).

Apesar de popularmente conhecidas como “brotos” no Brasil, elas não são classificadas dessa forma. Embora ambos, microverdes e brotos, serem consumidos em um estado imaturo (TREADWELL et al., 2010), estes últimos geralmente são cultivados em ambiente úmido e escuro, que favorece a proliferação microbiana, podendo causar intoxicações alimentares, ao contrário dos microverdes e da *baby leaf*, que são cultivados em substrato e sob luz, reduzindo riscos de contaminações (EBERT, 2012). Além disso, os microverdes têm sabor mais realçado do que os brotos e uma ampla variedade de cores vívidas, variedades e formas de folhas (EBERT, 2012). Além de textura, sabor e características visuais agradáveis, os microverdes podem ser boa fonte de vitaminas e outros fitonutrientes (SUN et al., 2013; XIAO et al., 2012). Pesquisadores avaliaram 25 espécies de microverdes e encontraram que, dentre elas, o repolho-roxo, o coentro, o amaranto-granada e o rabanete daikon verde são os que apresentam maiores concentrações de ácido ascórbico, carotenoides, filoquinonas e tocoferóis, respectivamente (XIAO et al., 2012). Também foi avaliada a composição mineral de 30 espécies da família Brassicaceae e encontraram que estas são boas fontes de ferro (0,47-0,84 mg 100 g<sup>-1</sup> de massa fresca), zinco (0,22-0,51 mg 100 g<sup>-1</sup> de massa fresca), cálcio (28-66 mg 100 g<sup>-1</sup> massa fresca) e potássio (28-66 mg 100 g<sup>-1</sup> massa fresca) (XIAO et al., 2016). Por outro lado, os microverdes possuem baixa produtividade, rápida senescência e curta vida de prateleira, o que muitas vezes acaba limitando a expansão de sua produção comercial (CHANDRA; KIM; KIM, 2012; KOU et al., 2013).

A ideia de produzir e comercializar microverdes surgiu no final dos anos 80 na Califórnia, Estados Unidos, e desde então ganhou popularidade como ingrediente culinário em restaurantes e supermercados mais sofisticados (TREADWELL et al., 2010). Segundo a empresa Koppert Cress (apud KYRIACOU et al., 2016), a oferta e demanda de plântulas destinadas ao consumo humano é altamente influenciada pelas tendências gastronômicas emergentes, e a seleção de espécies depende da interação do produtor com os *chefs* e da familiarização do consumidor com seus atributos sensoriais específicos.

O apelo por produtos saudáveis, aliado ao alto preço de mercado dos microverdes, pouco espaço necessário para cultivo e seu curto ciclo de produção, tem atraído pessoas interessadas em produzi-los. No entanto, o que poucas pessoas sabem é que as folhas presentes em plântulas concentram maiores teores de fitonutrientes e compostos bioativos do que quando comparadas a folhas maduras (LESTER; HALLMAN; PÉREZ, 2010; OH; CAREY; RAJASHEKAR, 2010; XIAO et al., 2012). Pesquisadores encontraram maiores quantidades de ácido

ascórbico,  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -tocoferol, filoquinona e minerais (Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Se e Mo), e menor teor de nitrato em relação às folhas de plantas maduras (PINTO et al., 2015; XIAO et al., 2012). Exemplo disso são os microverdes de repolho-roxo, que apresentam 40 vezes mais vitamina E, 6 vezes mais vitamina C, 260 vezes mais  $\beta$ -caroteno, 28,6 vezes maior concentração de luteína/zeaxantina do que as folhas na sua fase adulta (XIAO et al., 2012); microverdes de brócolis, que apresentam 50 vezes mais sulfurofano, o qual é um composto relacionado à prevenção de câncer (XIAO et al., 2015); microverdes de coentro, que possuem 3 vezes mais  $\beta$ -caroteno, 11,2 vezes maior concentração de luteína/zeaxantina e 5 vezes mais violaxantina (XIAO et al., 2012).

Fatores nutricionais são amplamente considerados críticos para a saúde humana. Substâncias antioxidantes, tais como vitaminas C e E, carotenoides, flavonoides e outros compostos fenólicos, são recomendáveis para uma dieta saudável, uma vez que ajudam a combater espécies de oxigênio livre e reativo que são produzidas fisiologicamente pelo corpo humano (AMES; SHIGENAGA; HAGEN, 1993). De um modo geral, é possível encontrar fibras e compostos antioxidantes em vegetais, tanto é que a Organização Mundial da Saúde recomenda um consumo diário maior que 400 g de frutas e hortaliças por pessoa para ajudar na prevenção de doenças crônicas, como diabetes, doenças cardiovasculares e dentárias, câncer, obesidade e osteoporose. Em 2001, foi observado que as doenças crônicas não transmissíveis são responsáveis por cerca de 60 % do total de mortes relatadas no mundo e 46 % da carga global de doenças, porém, estima-se que este último número aumentará para 58 % em 2020 (WHO, 2003). Dessa forma, os microverdes comestíveis de hortaliças, ervas aromáticas e leguminosas podem ser bons aliados da alimentação humana.

Outro ponto interessante a ser observado é a criação de uma nova definição das estruturas de consumo das espécies que popularmente ingerimos como raízes ou inflorescências, como no caso do rabanete, da cenoura, da beterraba, do brócoli, da couve-flor, entre outros. Assim, ao invés de produzirmos a planta durante um ciclo maior e gastar mais insumos como fertilizantes e água para gerar essas estruturas, podemos consumir essas espécies na fase de microverde, ingerindo o hipocótilo e as folhas cotiledonares. No entanto, os programas de melhoramento genético de hortaliças estão voltados à criação de genótipos adaptados ao cultivo convencional, com alta produtividade de raízes ou de inflorescências e resistência à diversas doenças que ocorrem no campo. Dessa forma, é necessária a geração de variedades mais baratas, que produzam muitas sementes e que sejam de alto valor nutricional na fase de plântula para que a produção e comercialização de microverdes se torne ainda mais viável no Brasil.

## 2.2. Produção de microverdes

A produção comercial de microverdes geralmente é realizada desde ambientes menos tecnificados até sistemas em que há grande tecnologia investida, como no caso das fazendas verticais. Há produtores que as cultivam em campo aberto, estufa agrícola, casa de vegetação e em sistemas *indoor*, como quartos-estufa, galpões e contêineres marítimos. Segundo Wubben (2019)<sup>1</sup>, a produção em fazendas verticais, onde ocorre a verticalização do cultivo de plantas e controle de todas as condições ambientais, tais como umidade relativa, temperatura do ar, intensidade luminosa, qualidade da luz e pressão de CO<sub>2</sub> do ar, é capaz de produzir cerca de 70 vezes mais que em campo aberto e 4 vezes mais que em casa de vegetação.

As sementes representam um dos maiores gargalos do custo de produção, principalmente em sistemas menos tecnificados, uma vez que são demandadas em grande quantidade. A densidade de semeadura utilizada para o cultivo dessas plântulas é de 1 a 4 sementes cm<sup>-2</sup>, baseado no peso da semente, porcentagem de germinação e densidade

---

<sup>1</sup> Informação recebida por Emiel Wubben durante o evento VertiFarm, Wageningen, Holanda, outubro de 2019.



de população desejada (DI GIOIA; MININNI; SANTAMARIA, 2015). Antes da sementeira, é importante realizar a sanitização das sementes com dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio ou hipoclorito de sódio, a fim de evitar o desenvolvimento de fungos e bactérias, uma vez que são utilizadas apenas sementes sem tratamento químico com fungicidas ou inseticidas. Também podem ser realizados tratamentos na pré-semeadura para melhorar a porcentagem de germinação e a uniformidade, e para encurtar o ciclo de produção, como por exemplo, o condicionamento osmótico e o tratamento térmico.

No cultivo de microverdes, as espécies são semeadas em bandejas com substrato, geralmente turfa ou mantas de fibra de coco prensada, colocadas para germinar de acordo com as condições exigidas por cada espécie e então transferidas para o local de cultivo definitivo, o qual pode ser sob telado, em estufa ou ambiente totalmente protegido com controle dos fatores ambientais, como luz, temperatura e umidade. Geralmente, após a sementeira, as bandejas são armazenadas em ambiente escuro e úmido para promover a germinação das sementes e o estiolamento das plântulas.

No cultivo em ambiente *indoor*, há produtores que produzem essas plântulas num fotoperíodo de 16 a 24 horas, com intensidade luminosa de 150 a 450  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , temperatura cerca de 21 °C e umidade relativa de 40 a 60 % (comunicação de diversas empresas produtoras de microverdes). Outro ponto interessante a ser comentado quanto à iluminação artificial é em relação à qualidade do espectro luminoso, uma vez que esta pode interferir na síntese de pigmentos, principalmente em genótipos que produzem bastante antocianinas, como o rabanete, repolho-roxo, manjerição-roxo, couve-rábano-roxo, entre outros. Foi notado que a qualidade do espectro luminoso com diferentes proporções de luzes vermelhas e azuis pode interferir na coloração das plântulas, afetando a aparência das plântulas (YING et al., 2020). Portanto, tendo em vista a grande variabilidade de condições climáticas estabelecidas no interior das câmaras de cultivo, tipos de substratos, soluções nutritivas, sistemas de irrigação e densidade de sementeira utilizados, há necessidade da padronização de protocolos de produção de microverdes.

Os microverdes são colhidos quando atingem de 5 a 10 cm de altura e os cotilédones estão completamente expandidos e ainda túrgidos, com o surgimento ou não das primeiras folhas verdadeiras (KYRIACOU et al., 2016), o que ocorre dentro de 7 a 22 dias a partir da germinação da semente, dependendo da espécie e sistema de cultivo.

Essas plântulas podem ser comercializadas já cortadas e embaladas, ou ainda no substrato, na própria bandeja ou vaso, e posteriormente colhidas pelo consumidor final. Para colhê-las, é realizado o corte na base do hipocótilo, poucos milímetros acima do nível do substrato, tomando-se cuidado em excluir partículas de substrato. Se cultivadas em manta de fibra de coco, é possível arrancá-las e consumi-las desde a raiz até os cotilédones.

### 2.3. Tecnologia LED

A luz LED é formada por um único tipo de diodo semicondutor, o que se assemelha mais ao *chip* do computador do que a lâmpada incandescente (BOURGET, 2008). O fluxo de energia vai do anodo ao catodo, nunca no sentido contrário, e os elétrons se juntam em eletrodos de diferentes voltagens até atingir um nível de energia menor. Nesse momento, a energia é liberada em forma de fóton (YEH; CHUNG, 2009).

A aplicação da iluminação artificial começou a ser estudada e aplicada há muitos anos para diversas culturas, especialmente em espécies ornamentais, nas quais o controle da floração e do tamanho e aparência das folhas e dos caules são importantes comercialmente, mais intensamente em altas latitudes onde o fotoperíodo é curto nos meses de inverno, sendo, portanto, o uso da radiação artificial limitante para a produção comercial nestas regiões (HEUVELINK et al., 2006). Mais recentemente, e com o aumento da importância da produção de hortaliças em

ambientes protegidos, surgiram tecnologias de radiação mais desenvolvidas como as lâmpadas LED. No caso das hortaliças, estas lâmpadas têm sido testadas com sucesso em plantas como tomate, pimentão, pepino, alface e em ornamentais, como orquídeas, bico-de-papagaio e crisântemo (ARAUJO et al., 2009; FAN et al., 2013; HOVI; NÄKKILÄ; TAHVONEN, 2004; ISLAM et al., 2012; LI; KUBOTA, 2009; MASSA et al., 2008; SCHUERGER; BROWN; STRYJEWSKI, 1997). A quantidade da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) absorvida pelas folhas e a eficiência com que estas convertem a energia luminosa em energia química pela fotossíntese está relacionada com a produção de biomassa pelas plantas (RADIN et al., 2003).

A capacidade das lâmpadas LED em controlar o espectro da radiação útil para várias espécies vegetais, o baixo calor que emitem (consideração importante em estufas com altas temperaturas acumuladas no seu interior), menor consumo de energia, possibilidade de se adaptar a diferentes níveis do dossel das culturas e a vida útil prolongada do equipamento, são vantagens que essa tecnologia oferece em comparação com outros sistemas de iluminação empregados na horticultura, os mais comuns baseados em lâmpadas de sódio de alta pressão (MORROW, 2008).

Mesmo com alta intensidade da radiação, os sistemas LED podem ser colocados próximos à planta, pois emitem baixo calor radiante, possibilitando que a colocação seja feita nos níveis inferiores do dossel, aumentando assim, o aproveitamento da luz nas áreas mais críticas e com menor atividade. O baixo consumo elétrico destas lâmpadas também é importante em termos de questão ambiental, visto que até 80% de redução no consumo de energia elétrica pode ser atingido por essa tecnologia. Possuem ainda outras vantagens, como falta de necessidade de aquecimento, controle do seu funcionamento pelo operador, além de vida útil longa, o que permite funcionamento prolongado e contínuo. Mesmo depois de 50.000 horas de operação, o LED ainda mantém 70 % da sua iluminação original. Além disso, não contém mercúrio, o que precisa ser tratado adequadamente, nem têm superfícies de vidro que podem provocar ferimentos (MORROW, 2008).

A capacidade de controlar o espectro da radiação é uma das características mais interessantes da iluminação com LED, isto porque a lâmpada pode ser configurada para coincidir com os fotorreceptores da planta e, assim, otimizar a produção sem perder energia em ondas de radiação não produtiva. Até mesmo a morfologia da planta pode ser influenciada pelo espectro luminoso, o qual pode ser personalizado para algumas culturas em específico, ou para determinados protocolos de produção (MORROW, 2008).

Embora as vantagens sejam muitas, a implementação da tecnologia de luz LED na horticultura comercial ainda não é frequente, visto que seu custo e sua instalação são elevados, embora o preço venha diminuindo (MORROW, 2008). Além disso, ainda é necessário pesquisar a emissão da luz transmitida por essas lâmpadas nas intensidades precisas da radiação e nos tempos e horários de exposição específicos por cultura e por etapa do crescimento, e até por objetivo comercial da produção, além de haver a necessidade de desenvolvimento de equipamentos de automatização do sistema liga/desliga das lâmpadas, associados com o monitoramento das condições ambientais da estufa, com o intuito de promover um melhor aproveitamento dessa tecnologia (MITCHELL et al., 2012).

#### **2.4. Efeitos da luz na concentração de pigmentos e antioxidantes**

Os benefícios da tecnologia LED no cultivo de hortaliças e condimentares são muitos e inclui a possibilidade de escolha do espectro de radiação e, assim, de controle da síntese e acúmulo de fitoquímicos prejudiciais ou benéficos à saúde humana (BIAN; YANG; LIU, 2015). Dentre os compostos prejudiciais que podem ter seu acúmulo restringido pode-se citar o nitrato e o ácido oxálico, enquanto as proteínas solúveis, açúcares solúveis, ácido

ascórbico, carotenoides, compostos fenólicos e antocianinas são compostos benéficos que podem ter seus teores elevados em resposta a determinados comprimentos de onda.

O ácido ascórbico (vitamina C) é um antioxidante que atua na fisiologia do estresse como um sequestrador de espécies reativas de oxigênio nas plantas. Humanos precisam ingerir quantidades diárias suficientes de ácido ascórbico presente em vegetais, uma vez que não são capazes de sintetizar esta substância, a qual tem como principal função a hidroxilação do colágeno, dando resistência às paredes dos vasos sanguíneos, aos ossos, tendões e dentes, prevenindo o escorbuto (HALSTED; SMITH; IRWIN, 1974). Como a luz azul (450 a 495 nm) aumenta a capacidade fotossintética e, conseqüentemente, a síntese e acumulação de hexose e D-glucose, pode elevar o teor de ácido ascórbico, conforme observado em plantas de alface e komatsuna (CHEN et al., 2011; OHASHI-KANEKO et al., 2007), pois estes açúcares são precursores desta vitamina (TOLEDO et al., 2003). Segundo Samuolienė et al. (2012b), a luz verde (535 nm) também é capaz de facilitar o acúmulo de ácido ascórbico tanto em alface verde quanto roxa. No entanto, Li e Kubota (2009) não observaram diferenças significativas do efeito da qualidade da luz na concentração de vitamina C em alface roxa.

Os carotenoides são compostos terpênicos de cores amarela, laranja e vermelha, que também atuam no complexo antena, tendo como função minimizar os danos aos componentes fotossintéticos causados pelo excesso de radiação (KOPSELL; LEFSRUD; KOPSELL, 2007; LANDRUM; BONE, 2001; TAI; ZEIGER, 2013a). No corpo humano, são importantes na prevenção da cegueira noturna e outras doenças nos olhos (MEYERS et al., 2013), doenças cardiovasculares (FLESHMAN et al., 2011) e câncer de pulmão (GALLICCHIO et al., 2008). Assim, a ingestão de vegetais ricos em carotenoides é de extrema importância para nossa saúde. A luteína e o  $\beta$ -caroteno são carotenoides que podem ter sua concentração aumentada em plantas cultivadas em luz azul ou vermelha. Ohashi-Kaneko et al. (2007) observaram que o teor de carotenoides foi superior quando plantas de espinafre foram submetidas ao cultivo em lâmpadas fluorescentes azuis (400 a 500 nm) comparado com aquelas cultivadas em lâmpadas fluorescentes brancas. Da mesma forma, Li, Hikosaka e Goto (2009) obtiveram que a luz azul (400 a 500 nm) aumentou a concentração de luteína e  $\beta$ -caroteno, também em espinafre. Similarmente, Kopsell e Sams (2013) observaram que este comprimento de onda estimulou o acúmulo de  $\beta$ -caroteno em plântulas de brócolis. Apesar de Lefsrud, Kopsell e Sams (2008) terem observado que a luz vermelha (640 nm) aumenta a concentração de luteína e a azul promove o acúmulo de  $\beta$ -caroteno em couve, Wu et al. (2007) obtiveram que a luz vermelha (625 a 630 nm) auxiliou no incremento de  $\beta$ -caroteno em plântulas de ervilha. A intensidade luminosa também pode interferir no acúmulo de carotenoides, uma vez que vários microverdes da família Brassicaceae obtiveram um aumento significativo no teor de carotenoides quando a intensidade das lâmpadas LED foi aumentada de 220 para 330 e 440  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , porém, diminuiu a 545  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (BRAZAITYTE et al., 2015).

Os compostos fenólicos ou polifenóis são metabólitos secundários produzidos por plantas, com funções antioxidantes importantes (SHIN et al., 2015), tendo efeitos benéficos para a saúde humana. A radiação UV (290 a 400 nm) estimula o aumento da concentração de ácido fenólico em frutos de tomate (LUTHRIA; MUKHOPADHYAY; KRIZEK, 2006) e de flavonoides em alface e outras folhosas (GARCÍA-MACÍAS et al., 2007), visto que o aumento da quantidade de compostos fenólicos aprimora a proteção da planta contra a fotoxidação (SCHREINER et al., 2012; SOLOVCHENKO; SCHMITZ-EIBERGER, 2003). Foi encontrado, também, que a luz vermelha (638 nm) aumenta consideravelmente o teor de compostos fenólicos tanto em alface verde-clara quanto em vermelha, mas não em alface verde-escura (SAMUOLIENĖ et al., 2010), demonstrando que os efeitos da luz vermelha podem variar inclusive de acordo com o cultivar. Os polifenóis são divididos em duas categorias: flavonoides e não-flavonoides. Dentre os flavonoides podem ser citados as antocianinas e a quercetina.

As antocianinas são o grupo mais comum dos flavonoides pigmentados e são responsáveis pela maioria das cores vermelha, rosa, púrpura e azul das plantas, as quais são atrativas a agentes polinizadores (TAIZ; ZEIGER, 2013a). Esses pigmentos produzidos pelo metabolismo secundário da planta contribuem com a homeostase das espécies reativas de oxigênio presentes na célula, sendo importantes para o mecanismo antioxidante (BOLOURI-MOGHADDAM et al., 2010; VAN DEN ENDE; VALLURU, 2009). Estresses ambientais como excesso de luz, baixas temperaturas, desequilíbrio nutricional, estresse hídrico, injúria mecânica e ataque de patógenos, podem aumentar a produção de antocianinas (GOULD, 2004). Os criptocromos, receptores de luz azul (400 a 500 nm), mediam a biossíntese de antocianinas (TAIZ; ZEIGER, 2013a), portanto, foi observado que a luz azul é efetiva em aumentar o conteúdo deste antioxidante natural em frutos de tomate (GILIBERTO et al., 2005), brotos de couve-chinesa (QIAN et al., 2016) e alface baby (LI; KUBOTA, 2009). Além da luz azul, tem sido observado que a luz vermelha (660 nm) também pode aumentar a concentração de antocianina, conforme observado em plântulas de repolho roxo (MIZUNO; AMAKI; WATANABE, 2009). Segundo Li e Kubota (2009), a luz UV-A (350 a 400 nm) também pode aumentar o teor deste composto fenólico em alface *baby leaf*, enquanto que a radiação no comprimento de onda do vermelho-distante (734 nm) suprime-o.

## 2.5. Imagens multiespectrais na análise de componentes em amostras

A tecnologia de imagens multiespectrais usa a medição da reflectância de vários comprimentos de onda, que vão do ultravioleta (220 nm) ao FIR (12.500 nm), além de informações espaciais da imagem de uma amostra a fim de identificar e quantificar componentes de forma não destrutiva. Reflectâncias nos comprimentos de onda na faixa do visível (400 a 700 nm) estão relacionados à presença de pigmentos, como carotenoides, clorofilas e antocianinas, enquanto reflectâncias no NIR (701 a 2500 nm) podem estar relacionadas ao conteúdo de água, óleos, estrutura da folha e compostos bioquímicos (GAMON et al., 2019; GAMON; SURFUS, 1999; OLESEN; VAN DUJIN; BOELT, 2014; XIAOBO et al., 2010). Devido às sobreposições nas reflectâncias dos pigmentos, vários modelos para estimar o conteúdo de clorofilas, carotenoides e antocianinas têm sido desenvolvidos (GITELSON; KEYDAN; MERZLYAK, 2006; XUE; YANG, 2009).

Na pesquisa científica, tem sido utilizada para analisar a composição química, a localização de cada componente e a presença de fungos ou outros corpos estranhos em amostras de carnes, folhas, flores, frutos e sementes (AGATI et al., 2002; HE et al., 2018; MUNERA et al., 2017; NOGALES-BUENO et al., 2015; OLESEN; VAN DUJIN; BOELT, 2014). Portanto, a tecnologia de imagem espectral oferece um método alternativo para determinar a qualidade, segurança e autenticidade de produtos alimentícios de maneira rápida e não destrutiva.

Os métodos da espectrofotometria e do CLAE são muito utilizados no mundo todo para determinar fitocompostos, como por exemplo pigmentos, flavonoides, compostos fenólicos e polissacarídeos. No entanto, esses métodos são bastante complexos, demorados, caros, requerem reagentes e necessitam de mão-de-obra especializada para realizar as análises. Além disso, é utilizada uma quantidade muito pequena de amostras para representar uma população, visto os pontos negativos já citados e por serem métodos em que as amostras precisam ser previamente moídas. Como são métodos destrutivos, também não permitem a análise de componentes ao longo do tempo numa mesma amostra.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

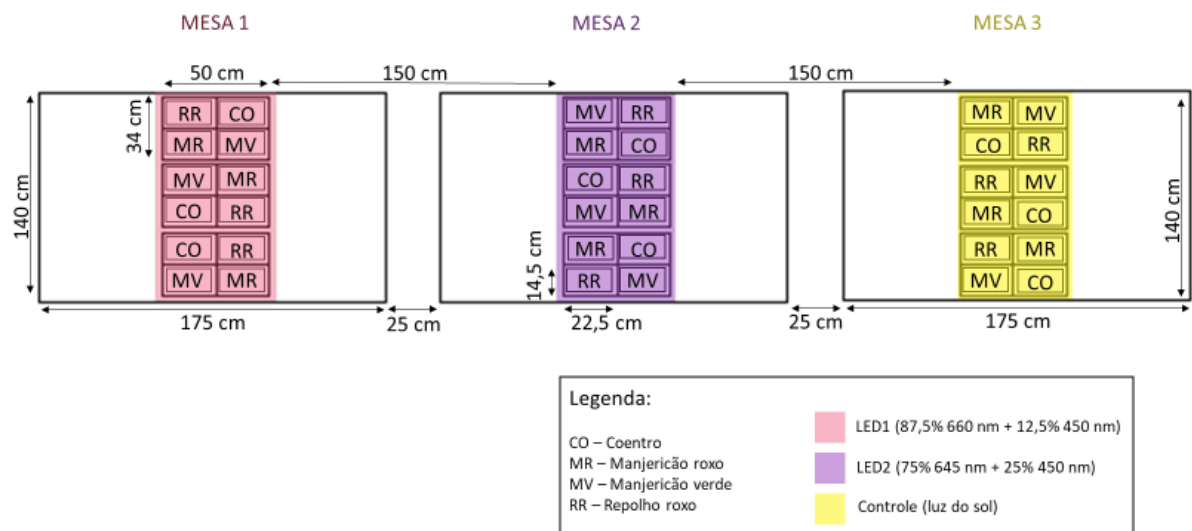
#### 3.1. Experimentos de campo

##### 3.1.1. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com análise em grupos de experimentos com três ambientes referentes à iluminação. Cada experimento foi composto por quatro culturas de microverdes e 3 blocos. Cada bloco foi representado por uma bandeja de 1675 cm<sup>2</sup> (50 cm x 33,5 cm), com uma placa de manta de fibra de coco de 326,25 cm<sup>2</sup> (22,5 cm x 14,5 cm) de cada microverde. A **Tabela 1** mostra os graus de liberdade calculados para este experimento. O croqui da área experimental pode ser visualizado na **Figura 1**.

**Tabela 1.** Graus de liberdade (G.L.) dos fatores de variação (F.V.) dos grupos de experimento em blocos casualizados.

F.V.	G.L.
Iluminação (I)	2
Blocos	6
(Parcela)	27
Microverdes (M)	3
I x M	6
Resíduo	18
Total	35



**Figura 1.** Croqui dos grupos de experimento em blocos casualizados, com três ambientes com iluminações distintas (LED1, LED2 e controle), 4 cultivares de microverdes (coentro, manjerição roxo, manjerição verde e repolho roxo) e 3 blocos.

Os experimentos foram realizados nos seguintes ambientes:

LED1: suplementação luminosa com luz LED com 12,5 % da intensidade luminosa no espectro do azul (pico em 445 nm) e 87,5 % no espectro do vermelho (pico em 660 nm);

LED2: suplementação luminosa com luz LED com 25 % da intensidade luminosa no espectro do azul (pico em 459 nm) e 75 % no espectro do vermelho (pico em 645 nm);

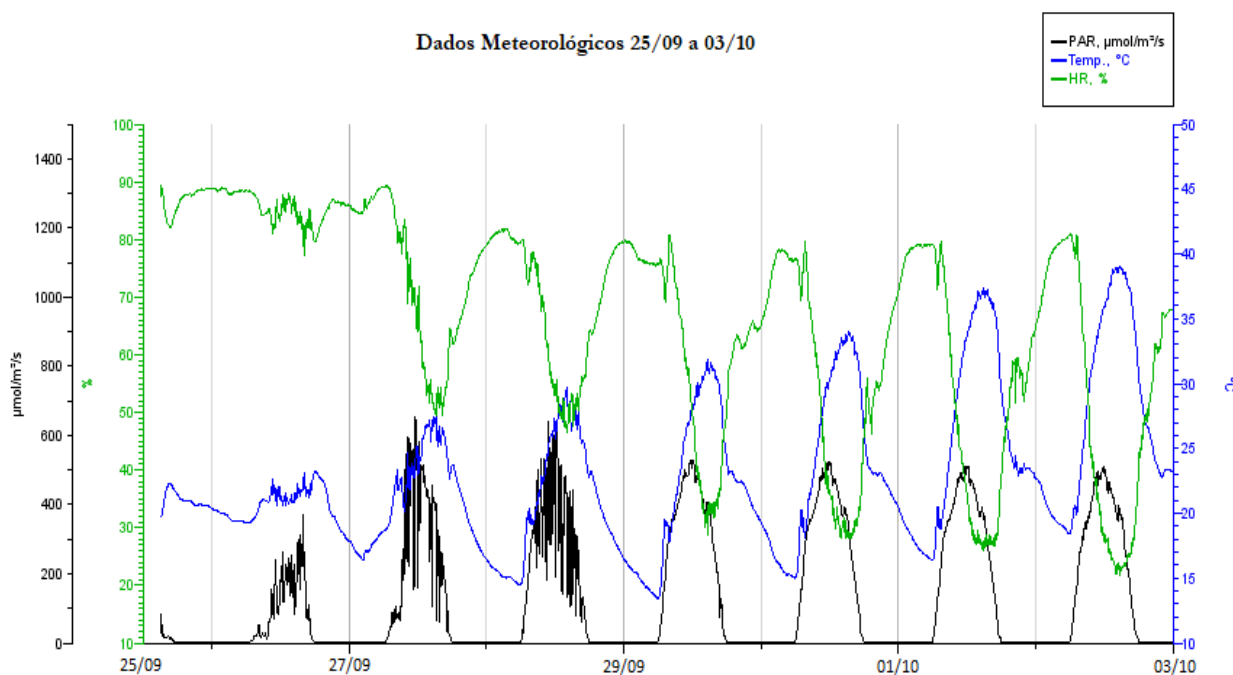
Controle: sem suplementação luminosa, apenas iluminação natural do interior da casa de vegetação.

Foram avaliados os seguintes microverdes: repolho-roxo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* f. *rubra* ‘Super Red’), manjeriço-verde (*Ocimum basilicum* ‘Alfavaca Basilicão’), manjeriço-roxo (*Ocimum basilicum* ‘Alfavaca Vermelho Rubi’) e coentro (*Coriandrum sativum* L. ‘Verdão’). Todas as sementes dessas cultivares utilizadas foram doadas pela empresa Isla.

### 3.1.2. Características do ambiente dos experimentos

Os experimentos foram realizados em uma casa de vegetação da área experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba, São Paulo, Brasil (22°42'28"S; 47°37'42"W; 541 m de altitude). A casa de vegetação é de tipo arco com estrutura em alumínio inoxidável e dois módulos de 6,4 m de largura, 27 m de comprimento e 3,4 m de altura do pé direito, e possui um sistema de resfriamento evaporativo (Pad&Fan), o qual, durante o período dos experimentos, era acionado automaticamente quando a temperatura interna ultrapassava 21 °C. Os experimentos ocorreram nos meses de setembro e outubro de 2019, época em que a procura por hortaliças folhosas começa a aumentar após o inverno. A escolha da época do experimento não foi baseada na intensidade luminosa incidente na casa-de-vegetação, uma vez que visou-se verificar se a suplementação luminosa, mesmo em períodos com alta incidência de radiação solar, pode influenciar de forma positiva na produtividade e qualidade de microverdes em função da qualidade do espectro luminoso.

Um *data logger* (Onset, H21 USB, Bourne, EUA) foi utilizado para armazenar os dados meteorológicos registrados pelos sensores de temperatura e umidade relativa do ar (Onset, S-THB-M002, Bourne, EUA) e PAR (Onset, S-LIA-M003, Bourne, EUA), os quais foram colocados próximos ao controle, à uma altura de 180 cm do chão. Após, os dados foram processados pelo *software* HOBOware v. 3.7.18 (Onset, Bourne, EUA) e podem ser visualizados na figura 2. As médias de temperatura e umidade relativa foram de 22,9 °C e 66 %, respectivamente. A PAR média ao longo de todo o experimento foi de 274  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  durante o dia e a acumulada foi de 56,38  $\text{mol m}^{-2} \text{ciclo}^{-1}$  para o manjeriço verde, 70,12  $\text{mol m}^{-2} \text{ciclo}^{-1}$  para o manjeriço roxo e 77,12  $\text{mol m}^{-2} \text{ciclo}^{-1}$  para o coentro e o repolho roxo, sem a iluminação suplementar.



**Figura 2.** Dados meteorológicos no período de 25 de setembro a 03 de outubro de 2019 do interior da casa de vegetação utilizada no experimento.

### 3.1.3. Semeadura e cultivo dos microverdes

Todas as sementes utilizadas eram nuas e sem tratamento com agroquímicos. Previamente a semeadura, as sementes de manjeriço e repolho foram desinfestadas a partir da imersão destas em uma solução aquosa de peróxido de hidrogênio 3 % por 30 minutos. As sementes de coentro por sua vez foram imersas em solução aquosa de dióxido de cloro 0,05 % por 5 horas. As sementes ficaram embebidas em água por 8 horas antes da semeadura.

A semeadura foi feita em placas de manta de fibra de coco (Coquim, Franco da Rocha, Brasil), com dimensões de 14,5 cm de largura por 22,5 cm de comprimento e 10 mm de espessura, as quais passaram por um tratamento para desinfestação. As placas foram fervidas em água por 10 minutos, embebidas em solução de peróxido de hidrogênio 3 % por 30 minutos, secas em forno a 100 °C para evaporação do peróxido de hidrogênio e, em seguida, encharcadas com água destilada previamente a semeadura para melhorar a aderência das sementes na fibra.

A densidade de semeadura utilizada variou conforme a espécie de microverde. Para o coentro foi utilizada uma densidade de 0,061 g cm<sup>-2</sup>, enquanto para o repolho-roxo utilizou-se uma densidade de 0,040 g cm<sup>-2</sup> e, para ambos os manjeriços, densidade de 0,018 g cm<sup>-2</sup>. O coentro foi semeado no dia 17 de setembro, o repolho um dia após e os manjeriços no dia 19 de setembro. As sementes foram dispersas manualmente da forma mais uniforme possível nas placas. As placas foram colocadas em bandejas de célula única, com dimensões externas de 33,5 cm de largura por 50 cm de comprimento, próprias para cultivo de mudas em espuma fenólica em mesas de germinação. Cada bandeja abrigou uma placa de cada uma das quatro cultivares. Em seguida, foram armazenadas em um quarto totalmente escuro e climatizado (temperatura de 24 °C e umidade relativa do ar de cerca de 80 %) para a germinação, estiolamento do hipocótilo e enraizamento das plântulas no substrato de fibra de coco. Nesta fase, a irrigação foi feita com o auxílio de uma mangueira com um chuveirinho acoplado na função *mist*, evitando a queda de gotas muito grandes nas placas.

Ao final da tarde do dia 25 de setembro as bandejas foram transferidas para mesas de germinação (Hidrogood, Taboão da Serra, Brasil) com dimensões de 140 cm de largura, 175 cm de comprimento, 5 cm de profundidade e 90 cm de altura, localizadas no interior da casa de vegetação. O sistema de irrigação utilizado foi o *ebb and flow*, no qual a solução nutritiva presente no reservatório é bombeada para alimentar a mesa. Um *timer* acoplado à bomba foi ajustado para acioná-la por dois minutos a cada uma hora, durante o dia, e dois minutos a cada três horas no período noturno. A solução nutritiva utilizada foi a proposta por Furlani (1998) para hortaliças folhosas, diluída a 40 %, composta por 78 ppm de N, 16 ppm de P, 73 ppm de K, 57 ppm de Ca, 13 ppm de Mg, 15 ppm de S, 0,182 ppm de Cu, 0,182 ppm de Mn, 0,726 ppm de Fe, 0,182 ppm de B, 0,073 ppm de Zn e 0,036 ppm de Mo. A condutividade elétrica da solução nutritiva foi mantida a 0,8 dS m<sup>-1</sup> e o pH entre 5,5 e 6,5.

O ponto de colheita dos microverdes de manjericão e repolho ocorreu quando as plântulas estavam com seus cotilédones totalmente expandidos e túrgidos, sem o aparecimento de folhas verdadeiras, enquanto o coentro foi colhido quando 70 % das plântulas já haviam emitido a primeira folha verdadeira, a qual é mais ornamentada. A duração dos períodos em permanecerem em quarto escuro e na casa de vegetação, bem como a duração do ciclo total de cada variedade podem ser observados na tabela 2.

**Tabela 2.** Duração dos períodos em que cada microverde permaneceu em quarto escuro e em casa de vegetação, bem como a duração do ciclo de cultivo total.

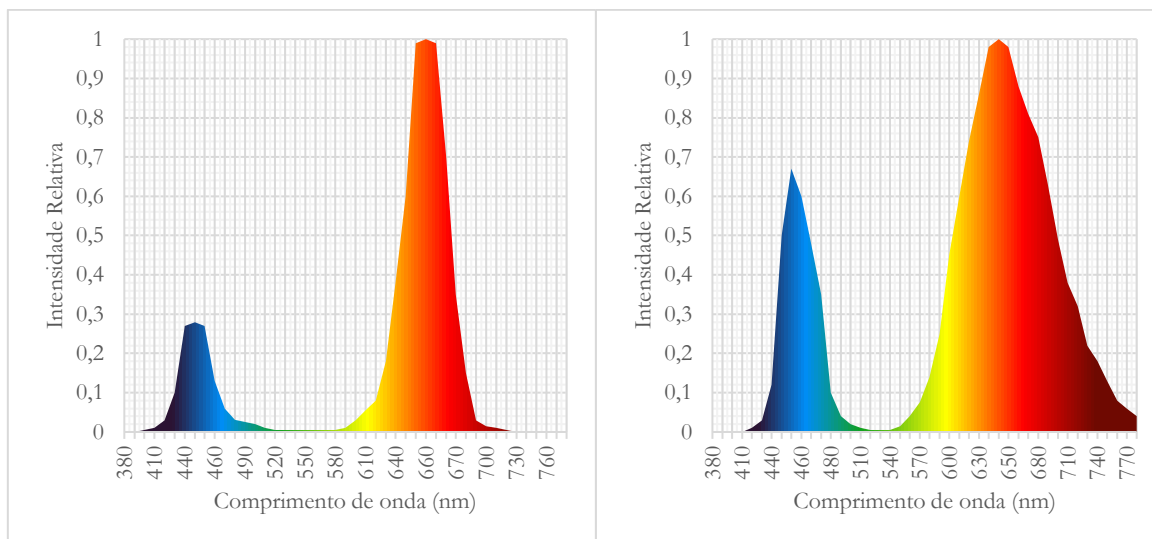
Microverde	Cultivo (número de dias)		
	Quarto escuro	Casa de vegetação	Ciclo total
Coentro	8,5	7,0	15,5
Manjericão-roxo	6,5	5,5	12,0
Manjericão-verde	6,5	4,5	11,0
Repolho-roxo	7,5	6,5	14,0

### 3.1.4. Iluminação artificial

As luzes LED (Itaim Lighting Concept, São Paulo, Brasil) foram instaladas em suportes de alumínio inoxidável a 22 cm das bandejas de cultivo, permitindo a chegada de uma intensidade luminosa de cerca de 185  $\mu\text{mol s}^{-1}$  m<sup>2</sup>. Cada tratamento de luz foi composto de 3 bandejas, totalizando uma área de 5025 cm<sup>2</sup>, que, nos tratamentos em que houve a suplementação luminosa, foi coberta por um arranjo de 10 barras de 60 cm de comprimento, distanciadas a 5 cm umas das outras, de forma que cobrisse todas as bandejas de cultivo para distribuir uniformemente a luz sobre as plântulas. Um *timer* foi programado para acender as lâmpadas por 16 horas diárias das 06:00 às 22:00, acrescentando-se 10,65 moles m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, até o momento da colheita.

Os arranjos de luzes LED testados possuíam os seguintes espectros de radiação luminosa:





**Figura 3.** Espectros de radiação dos conjuntos LED1 (12,5 % azul/87,5 % vermelho) e LED2 (25 % azul/75 % vermelho), respectivamente.

## 3.2. Avaliações

### 3.2.1. Análise de imagens multiespectrais

As capturas de imagens multiespectrais foram realizadas dois dias antes da colheita dos microverdes por dois equipamentos distintos.

#### 3.2.1.1. Equipamento Seedreporter

Foi utilizado o equipamento SeedReporter Camera Spectral & Colour (PhenoVation Life Sciences, Wageningen, Holanda), o qual consiste em um gabinete compacto contendo um computador incorporado e um software de aquisição de imagens, uma câmera CCD de 6 Mp com níveis de cinza de 14 bits por pixel. O SeedReporter é um sistema de análise de imagens obtidas nos comprimentos de onda do vermelho, verde, azul, infravermelho próximo – NIR e infravermelho distante.

Antes das avaliações, as amostras foram mantidas por 30 minutos no escuro, de modo que todos os centros de reação estivessem fisiologicamente abertos e otimizados para receberem os elétrons dos fótons. Em seguida, foram transferidas para o interior do gabinete do SeedReporter para as medições de índice de antocianinas (AriIdx) e índice de clorofilas (ChlIdx), fluorescência de clorofilas a 710 nm (Chl<sub>710</sub>) e eficiência do fotossistema II (Fv/Fm), que foi dada por  $Fv/Fm = Fm (Fm - F0) / Fm$ . As imagens foram analisadas por meio do Software CFII – Analysis (versão 5.4.5), que permitiu o tratamento de cada imagem por meio de filtros para retirada de ruídos.

### 3.2.1.2. Equipamento VideoMerterLab

Foram obtidas imagens multiespectrais de seis plântulas por placa de microverde, exceto para o coentro, no qual apenas três plântulas por placa foram analisadas. As plântulas foram colocadas cuidadosamente em placas de Petri. A imagens foram obtidas utilizando o equipamento VideoMeterLab 4 (VideoMeter A/S, Hørsholm, Dinamarca), o qual consiste em uma esfera contendo uma câmera de 5 Mp localizada no topo da esfera e 19 diodos emissores de luz (LEDs) de diferentes comprimentos de onda (365, 405, 430, 450, 470, 490, 515, 540, 570, 590, 630, 645, 660, 690, 780, 850, 880, 940 e 970 nm) atingindo desde a faixa do ultravioleta até o infravermelho próximo do espectro eletromagnético. A esfera é revestida com tinta fosca de titânio para garantir uma iluminação difusa uniforme sobre o objeto. Os LEDs são posicionados lado a lado na parte interna central da esfera, e emitem sinal de luz em sequência, um após o outro, resultando em uma imagem para cada LED, totalizando 19 imagens de reflectância de alta resolução (2.056 x 2.056 pixels). A intensidade de reflectância varia em função da cor, textura e composição química das amostras. O sistema de aquisição registra a reflectância da superfície com um CCD de padrão monocromático associado a uma câmera Point Grey Scorpion. Para obtenção dos valores de fluorescência de clorofilas, as amostras foram iluminadas por LEDs nos comprimentos de onda de 630, 645 e 660 nm.

Previamente à captura das imagens, o equipamento foi calibrado em relação à cor, geometria e auto iluminação para garantir um conjunto de imagens comparáveis. Para isto, foi utilizado um alvo difuso branco e outro escuro, permitindo a modificação do sistema de luz com base no tipo de objeto a ser analisado, e um alvo geométrico utilizado para garantir correspondência dos pixels para todas as bandas do espectro. A análise dos dados foi realizada com o software VideoMeterLab 3.12.19. Para extrair informações das imagens multiespectrais, foram obtidos dados de cor e características binárias.

### 3.2.2. Colorimetria dos cotilédones

Logo após a colheita dos microverdes foi realizada a medição de cor do dossel em quatro pontos de cada placa usando o colorímetro Minolta CR-300 (Minolta Camera Co. Ltd, Osaka, Japão), previamente calibrado com o auxílio de uma placa padrão branca. As medições foram obtidas nos parâmetros de espaço de cor da CIE (Commission Internationale de l'éclairage):  $L^*$  (luminosidade, eixo principal variando do preto ao branco),  $a^*$  (coordenada variando do verde ao vermelho) e  $b^*$  (coordenada que varia do azul ao amarelo). A partir dos componentes  $a^*$  e  $b^*$  foram calculados o croma ( $C^*$ ), pela fórmula  $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ , e o ângulo hue ( $h^\circ$ ), pela fórmula  $\tan^{-1}(b^*/a^*)$ . O  $C^*$  denota a intensidade ou saturação da cor, de forma que quanto maior o valor de  $C^*$ , maior a saturação. O  $h^\circ$  é um atributo qualitativo que define a amostra como avermelhada, esverdeada, azulada etc. Considera-se amostras com ângulo de:  $0^\circ$  como vermelhas,  $90^\circ$  como amarelas,  $180^\circ$  como verdes e  $270^\circ$  como azuis.

### 3.2.3. Parâmetros biométricos

Ao final do experimento, mediu-se o comprimento dos hipocótilos de dez plântulas por placa de microverdes. Em seguida, foram coletadas todas as plântulas das placas para avaliar a produção de massa fresca e seca. As amostras foram pesadas em balança analítica de precisão para obtenção da massa fresca, armazenadas em sacos de

papel, colocadas em estufa de circulação de ar convectivo a 65 °C até massa constante, e pesadas novamente na mesma balança para obtenção dos dados de massa seca.

### **3.2.4. Teores de nutrientes**

Após a determinação da massa seca, as mesmas amostras foram levadas ao Laboratório de Análises de Tecidos Vegetais do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, onde foram moídas em moinho tipo Wiley para então serem determinados os teores dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, e micronutrientes Fe, B, Cu, Mn e Zn, conforme a metodologia descrita por Malavolta; Vitti; Oliveira (1997).

### **3.2.5. Análises bioquímicas**

Após a pesagem da massa fresca, foram separados 3 g de hipocótilos, 3 g de cotilédones e 7 g de parte aérea para as análises bioquímicas. As amostras foram armazenadas em papel alumínio, congeladas em N líquido e mantidas em freezer a -20 °C. Após, foram secas em liofilizador (LIOTOP, L101) a uma temperatura de -60 °C até atingir pressão abaixo de 31 µHg, acondicionadas em tubetes de plástico envoltos de papel alumínio e armazenadas em freezer até o momento da realização das seguintes análises bioquímicas: teores de clorofilas, carotenoides, antocianinas, quercetina e ácido ascórbico, que foram realizadas em duplicata.

#### **3.2.5.1. Teor de ácido ascórbico**

A metodologia utilizada para a determinação do teor de ácido ascórbico é a desenvolvida por Pasternak et al. (2005), na qual a amostra (0,1 g) é extraída com 3 mL de ácido metafosfórico 3 % em homogeneizador Potter e centrifugada a 8.000 rpm por 20 minutos a 4 °C. O extrato obtido é filtrado em filtro PTFE, de 0,45 µm, e adicionado de ditiotreitol (DTT) para a redução do ácido dehidroascórbico. A quantificação do ácido ascórbico foi realizada por CLAE-DAD (Hewlett-Packard 1100, Agilent), em coluna µBondpack C18 (300 mm x 3.6 mm, Waters, Milford, MA). A fase móvel foi constituída de solução KCl 2 mM, pH 2,5 com fluxo de 0,8 mL/min e a detecção realizada em comprimento de onda de 245 nm. O teor de ácido ascórbico total foi identificado a partir do tempo de retenção e identidade de espectro. A extração foi realizada em duplicata e aplicadas em duplicatas no cromatógrafo.

#### **3.2.5.2. Determinação de pigmentos e quercetina**

A extração das clorofilas e carotenoides foi realizada segundo Hiscox e Israelstam (1979). Foram pesados 20 mg de microverdes liofilizados por amostra, adicionados 5 mL de (DMSO) e realizada agitação. A amostra foi deixada por 48 horas ao abrigo da luz e em temperatura ambiente para realizar a extração. Em seguida, os tubos foram centrifugados por 2 minutos a 600 rpm. O sobrenadante foi retirado para realizar a medição por meio de espectrofotômetro (BIOCHROM, Libra S22) nos comprimentos de onda de 665 nm e 649 nm para determinação das

clorofilas a e b e 480 nm para quantificação dos carotenoides totais. A quantificação foi calculada pelas equações propostas por Wellburn (1994).

Foi utilizada a metodologia proposta por Lees e Francis (1972) para a determinação de antocianinas e quercetina. As plântulas foram maceradas em nitrogênio líquido, armazenadas em tubos falcon com 10 mL de solução extratora de etanol 95 % e HCl 1,5 N (85:15 v/v), agitadas e deixadas em repouso por 12 horas a 4 °C no escuro. Em seguida, as amostras foram filtradas e os resíduos lavados com a solução extratora até a remoção completa dos pigmentos. Após um período de repouso de 2 horas em local completamente escuro e à temperatura ambiente, as leituras de antocianinas e quercetina foram realizadas com auxílio de um espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 535 nm e 375 nm, respectivamente. Os resultados foram expressos em mg de antocianina ou quercetina por 100 g de amostra vegetal.

### **3.3. Análise Estatística**

Foram realizadas análises exploratórias dos dados, a fim de verificar padrões de homogeneidade de variâncias, número de repetições, pontos discrepantes e escala. Para a análise estatística dos resultados obtidos nas diferentes avaliações, foram feitas análises de variância pelo teste F. As médias dos tratamentos foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade, usando o programa SAS/STAT® (©SAS Institute Inc). Foram, também, realizadas análises nCDA para identificação dos níveis de reflectância obtidos pelas imagens multiespectrais nas diferentes partes das amostras em função dos diferentes comprimentos de onda.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Biometria

O comprimento do hipocótilo (cm), massas frescas e secas (g) e teores de água e massa (%) de microverdes de coentro, manjerição-roxo, manjerição-verde e repolho-roxo, cultivados em casa de vegetação, sob influência da suplementação luminosa constam na tabela 3. O conjunto LED1 diminuiu o comprimento do hipocótilo de microverdes de coentro e de repolho-roxo, em relação ao controle e ao LED2, respectivamente. Não houve diferenças estatísticas quanto à variável comprimento do hipocótilo para os manjericões.

O manjerição-verde acumulou maior biomassa com a suplementação luminosa com o conjunto LED2 em relação ao LED1, mas foi estatisticamente semelhante ao controle. A massa seca por sua vez, foi maior com o LED2 em relação ao controle. Para os demais microverdes, não houve diferenças significativas para essas variáveis. Os teores de água e de massa também não foram afetados pela suplementação luminosa para todos os microverdes empregados neste estudo.

**Tabela 3.** Comprimento do hipocótilo (cm), massas frescas e secas (g) e teores de água e massa (%) de microverdes de coentro, manjerição-roxo, manjerição-verde e repolho-roxo, cultivados em casa de vegetação, em diferentes tratamentos de luz: com suplementação luminosa a partir dos conjuntos LED1 (12,5 % azul/87,5 % vermelho) e LED2 (25 % azul/75 % vermelho) e iluminação natural da casa de vegetação (controle).

Ambientes	Microverdes				CV%
	Coentro	Manjerição-roxo	Manjerição-verde	Repolho-roxo	
----- Comprimento do hipocótilo (cm) -----					
Controle	5,05 ± 0,33 Aa	3,37 ± 0,11 Ba	3,40 ± 0,14 Ba	5,37 ± 0,07 Aab	4,45
LED1	4,27 ± 0,85 ABb	3,48 ± 0,11 Ba	3,481 ± 0,42 Ba	4,86 ± 0,18 Ab	12,14
LED2	4,79 ± 0,43 Bab	3,47 ± 0,26 Ca	3,52 ± 0,13 Ca	5,74 ± 0,26 Aa	6,61
----- Massa fresca (g) -----					
Controle	40,76 ± 4,45 Da	74,90 ± 11,65 Ca	110,38 ± 9,42 Bab	139,59 ± 8,29 Aa	9,68
LED1	34,97 ± 4,62 Da	75,01 ± 7,64 Ca	95,90 ± 2,25 Bb	140,51 ± 11,20 Aa	8,37
LED2	36,06 ± 6,63 Da	80,77 ± 11,43 Ca	119,14 ± 4,51 Ba	158,48 ± 11,63 Aa	9,22
----- Massa seca (g) -----					
Controle	5,37 ± 0,78 ABa	4,22 ± 0,67 ABa	5,66 ± 0,43 Ab	3,78 ± 0,66 Ba	13,66
LED1	4,72 ± 1,32 ABa	4,00 ± 0,75 Ba	6,45 ± 0,86 Aab	4,55 ± 0,57 ABa	18,67
LED2	4,80 ± 0,14 Ba	4,83 ± 0,48 Ba	7,86 ± 0,20 Aa	4,94 ± 0,23 Ba	5,21
----- Teor de água (%) -----					
Controle	86,78 ± 1,96 Ca	94,36 ± 0,25 Ba	94,85 ± 0,58 ABa	97,29 ± 0,47 Aa	1,13
LED1	86,69 ± 1,95 Ca	94,69 ± 0,56 ABa	93,29 ± 0,75 Ba	96,77 ± 0,15 Aa	1,17
LED2	86,33 ± 3,03 Ba	93,99 ± 0,29 Aa	93,39 ± 0,37 Aa	96,88 ± 0,18 Aa	1,66
----- Teor de massa (%) -----					
Controle	13,21 ± 1,96 Aa	5,64 ± 0,24 Ba	5,15 ± 0,58 BCa	2,71 ± 0,47 Ca	15,82
LED1	13,31 ± 1,95 Aa	5,31 ± 0,56 BCa	6,70 ± 0,75 Ba	3,23 ± 0,15 Ca	15,17
LED2	13,67 ± 3,03 Aa	6,01 ± 0,29 Ba	6,60 ± 0,37 Ba	3,12 ± 0,18 Ba	20,92

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas linhas ou minúsculas distintas nas colunas diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## 4.2. Teores de nutrientes

Comparando os teores de nutrientes entre os microverdes cultivados no ambiente controle, pode-se observar que as plântulas de coentro e repolho-roxo mostraram os maiores teores de K, Ca, Cu, Fe e Zn (tabelas 4 e 5). Além disso, o repolho-roxo por si só também apresentou elevado teor de Mg. O manjericão-roxo e o coentro apresentaram os maiores teores de S. O manjericão-verde, apesar de ter sido o menos rico em nutrientes, obteve concentrações de Mn cerca de duas vezes maiores que os demais microverdes.

Os teores de macro e micronutrientes nas plântulas foram afetados pelos diferentes ambientes de iluminação (tabelas 4 e 5). O cultivo sem suplementação luminosa foi responsável pelos maiores teores de K e B em coentro; de N, Cu e Mn em manjericão roxo; e de P, K, Mg, B, Fe e Mn em repolho roxo em relação aos tratamentos LED1 e LED2. O ambiente com o conjunto LED1 promoveu os maiores teores de N em microverdes de coentro e repolho-roxo; P, Fe e Zn em manjericão-roxo; Fe em manjericão-verde; e Zn em repolho-roxo. O ambiente com o conjunto de LED2 promoveu os maiores teores de Mg e Fe em coentro, S em manjericão roxo, K, B, Cu e Mn em manjericão verde, e de Ca em repolho roxo quando comparado ao controle e ao LED1.

**Tabela 4.** Teores de macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$  de massa seca) em microverdes de coentro, manjericão-roxo, manjericão-verde e repolho-roxo, cultivados em casa de vegetação, em diferentes tratamentos de luz: com suplementação luminosa a partir dos conjuntos LED1 (12,5 % azul/87,5 % vermelho) e LED2 (25 % azul/75 % vermelho) e iluminação natural da casa de vegetação (controle).

Ambientes	Microverdes				CV%
	Coentro	Manjericão-roxo	Manjericão-verde	Repolho-roxo	
----- N ( $\text{g kg}^{-1}$ massa seca) -----					
Controle	53,94 $\pm$ 0,67 Bb	65,28 $\pm$ 0,28 Aa	35,13 $\pm$ 0,13 Da	42,15 $\pm$ 0,15 Cb	0,76
LED1	62,74 $\pm$ 0,74 Aa	57,03 $\pm$ 0,03 Bc	31,40 $\pm$ 0,40 Db	43,67 $\pm$ 0,10 Ca	0,87
LED2	42,78 $\pm$ 0,2 Bc	58,80 $\pm$ 0,80 Ab	30,83 $\pm$ 0,21 Cb	41,94 $\pm$ 0,25 Bb	1,02
----- P ( $\text{g kg}^{-1}$ massa seca) -----					
Controle	9,18 $\pm$ 0,18 Aa	9,23 $\pm$ 0,23 Ab	6,88 $\pm$ 0,44 Bab	9,05 $\pm$ 0,10 Aa	3,13
LED1	8,15 $\pm$ 0,15 Bb	10,06 $\pm$ 0,06 Aa	6,79 $\pm$ 0,20 Cb	8,61 $\pm$ 0,30 Bb	2,35
LED2	9,00 $\pm$ 0,10 Aa	7,83 $\pm$ 0,30 Bc	7,07 $\pm$ 0,07 Ca	7,37 $\pm$ 0,20 BCc	2,43
----- K ( $\text{g kg}^{-1}$ massa seca) -----					
Controle	48,72 $\pm$ 1,10 Ba	26,88 $\pm$ 1,00 Ca	27,21 $\pm$ 0,76 Cc	53,76 $\pm$ 1,00 Aa	2,48
LED1	35,28 $\pm$ 1,10 Bc	26,85 $\pm$ 0,39 Da	31,92 $\pm$ 0,40 Cb	43,68 $\pm$ 1,00 Ab	2,31
LED2	45,36 $\pm$ 1,00 Ab	18,48 $\pm$ 0,30 Db	32,76 $\pm$ 0,76 Ba	26,85 $\pm$ 0,65 Cc	2,34
----- Ca ( $\text{g kg}^{-1}$ massa seca) -----					
Controle	10,35 $\pm$ 1,00 Ba	8,59 $\pm$ 0,19 Ca	6,95 $\pm$ 0,10 Da	12,10 $\pm$ 0,06 Ab	5,39
LED1	10,50 $\pm$ 0,90 Aa	8,04 $\pm$ 0,04 Ba	7,06 $\pm$ 0,06 Ba	11,70 $\pm$ 0,30 Ab	5,10
LED2	8,50 $\pm$ 1,00 Bb	7,80 $\pm$ 0,30 BCa	6,40 $\pm$ 0,20 Ca	16,45 $\pm$ 1,00 Aa	7,45
----- Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ massa seca) -----					
Controle	3,62 $\pm$ 0,30 Cb	4,35 $\pm$ 0,35 Ba	4,16 $\pm$ 0,10 BCa	5,02 $\pm$ 0,07 Aa	5,56
LED1	3,20 $\pm$ 0,10 Bc	4,06 $\pm$ 0,06 Aa	4,45 $\pm$ 0,20 Aa	4,45 $\pm$ 0,30 Ab	4,69
LED2	4,58 $\pm$ 0,55 Aa	3,01 $\pm$ 0,03 Bb	4,35 $\pm$ 0,20 Aa	4,58 $\pm$ 0,10 Ab	7,21
----- S ( $\text{g kg}^{-1}$ massa seca) -----					
Controle	13,27 $\pm$ 1,00 Aa	14,49 $\pm$ 0,09 Ab	1,94 $\pm$ 0,04 Ca	5,33 $\pm$ 0,33 Ba	6,04
LED1	11,83 $\pm$ 0,90 Bb	15,79 $\pm$ 0,20 Aa	2,56 $\pm$ 0,10 Da	5,46 $\pm$ 0,06 Ca	5,21
LED2	13,99 $\pm$ 1,00 Aa	11,47 $\pm$ 0,30 Bc	2,20 $\pm$ 0,10 Da	4,45 $\pm$ 0,67 Ca	7,66

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas linhas ou minúsculas distintas nas colunas diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 5.** Teores de micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$  de massa seca) em microverdes de coentro, manjerição-roxo, manjerição-verde e repolho-roxo, cultivados em casa de vegetação, em diferentes tratamentos de luz: com suplementação luminosa a partir dos conjuntos LED1 (12,5 % azul/87,5 % vermelho) e LED2 (25 % azul/75 % vermelho) e iluminação natural da casa de vegetação (controle).

Ambientes	Microverdes				CV%
	Coentro	Manjerição-roxo	Manjerição-verde	Repolho-roxo	
----- B ( $\text{mg kg}^{-1}$ massa seca) -----					
Controle	33,50 $\pm$ 0,50 Aa	29,47 $\pm$ 0,10 Ba	23,65 $\pm$ 0,76 Db	26,29 $\pm$ 0,20 Ca	1,65
LED1	21,20 $\pm$ 0,90 Cc	29,26 $\pm$ 0,26 Aa	23,86 $\pm$ 0,95 Bb	24,59 $\pm$ 1,00 Bb	3,37
LED2	27,35 $\pm$ 1,00 Bb	27,77 $\pm$ 0,60 Bb	29,68 $\pm$ 0,40 Aa	22,05 $\pm$ 0,40 Cc	2,42
----- Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ massa seca) -----					
Controle	24,50 $\pm$ 1,00 Aa	11,00 $\pm$ 0,10 Ca	12,50 $\pm$ 0,50 Cb	19,50 $\pm$ 1,00 Ba	4,45
LED1	24,50 $\pm$ 1,50 Ab	10,00 $\pm$ 0,50 Cb	13,00 $\pm$ 0,40 Bb	20,00 $\pm$ 1,00 Aa	5,93
LED2	21,50 $\pm$ 1,00 Aa	7,00 $\pm$ 0,05 Dc	15,00 $\pm$ 0,20 Ca	18,50 $\pm$ 0,50 Bb	3,50
----- Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ massa seca) -----					
Controle	108,90 $\pm$ 2,00 Ab	96,42 $\pm$ 0,38 Bb	55,72 $\pm$ 0,68 Cc	110,25 $\pm$ 3,00 Aa	1,99
LED1	107,10 $\pm$ 3,00 Ab	106,77 $\pm$ 1,53 Aa	79,20 $\pm$ 0,70 Ba	102,60 $\pm$ 2,00 Ab	2,01
LED2	136,35 $\pm$ 1,00 Aa	64,80 $\pm$ 1,00 Cc	64,80 $\pm$ 0,20 Cb	88,65 $\pm$ 1,00 Bc	0,98
----- Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ massa seca) -----					
Controle	42,00 $\pm$ 1,00 Da	51,50 $\pm$ 0,50 Ca	99,50 $\pm$ 0,50 Ac	56,00 $\pm$ 1,00 Ba	1,27
LED1	35,00 $\pm$ 1,00 Cb	48,00 $\pm$ 1,00 Bb	108,50 $\pm$ 0,50 Ab	47,50 $\pm$ 2,00 Bb	2,09
LED2	42,00 $\pm$ 1,00 Ba	35,33 $\pm$ 1,14 Cc	116,00 $\pm$ 1,00 Aa	36,50 $\pm$ 2,50 Cc	2,69
----- Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ massa seca) -----					
Controle	152,50 $\pm$ 4,00 Ac	116,00 $\pm$ 0,80 Bb	101,00 $\pm$ 1,00 Cb	146,50 $\pm$ 3,00 Ab	2,00
LED1	165,00 $\pm$ 3,00 Ab	121,00 $\pm$ 2,00 Ba	105,00 $\pm$ 1,00 Ca	163,50 $\pm$ 3,00 Aa	1,73
LED2	188,50 $\pm$ 1,00 Aa	103,50 $\pm$ 1,50 Dc	106,50 $\pm$ 1,00 Ca	133,00 $\pm$ 1,00 Bc	0,86

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas linhas ou minúsculas distintas nas colunas diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 4.3. Colorimetria dos cotilédones

A  $L^*$  não foi influenciada pelos tratamentos com luz. Apenas os microverdes de manjerição-roxo sofreram mudanç as na  $C^*$  e no  $h^\circ$  em decorrência dos diferentes ambientes de cultivo relacionados à luz (tabela 6). O ambiente com LED1 diminuiu o valor de  $C^*$  e aumentou o  $h^\circ$ , deixando as folhas cotiledonares mais próximas da cor azul e opacas.

Os cotilédones do manjerição-roxo apresentaram os menores valores de  $h^\circ$ , exceto em LED1, e de  $C^*$  e  $L^*$ . Estas duas últimas variáveis também mostraram valores baixos para o repolho-roxo conforme o esperado, uma vez que os cotilédones desse microverde são mais escuros e opacos que o manjerição-verde e o coentro.

**Tabela 6.** Luminosidade (L\*), croma (C\*) e ângulo hue (h°) em microverdes de coentro, manjeriçã-roxo, manjeriçã-verde e repolho-roxo, cultivados em casa de vegetação, em diferentes tratamentos de luz: com suplementação luminosa a partir dos conjuntos LED1 (12,5 % azul/87,5 % vermelho) e LED2 (25 % azul/75 % vermelho) e iluminação natural da casa de vegetação (controle).

Ambientes	Microverdes				CV%
	Coentro	Manjeriçã-roxo	Manjeriçã-verde	Repolho-roxo	
----- L* -----					
Controle	43,10 ± 2,27 Aa	30,80 ± 0,36 Ba	45,96 ± 1,34 Aa	32,14 ± 1,12 Ba	3,81
LED1	44,73 ± 1,79 Aa	31,05 ± 1,29 Ba	43,87 ± 2,27 Aa	30,85 ± 0,44 Ba	4,24
LED2	43,73 ± 1,12 Aa	29,94 ± 1,00 Ba	47,06 ± 1,76 Aa	31,05 ± 1,90 Ba	3,94
----- C* -----					
Controle	33,64 ± 0,76 Ba	15,33 ± 1,60 Da	38,53 ± 0,82 Aa	18,46 ± 1,33 Ca	4,46
LED1	34,58 ± 1,74 Aa	10,09 ± 1,60 Cb	36,76 ± 2,20 Aa	18,64 ± 0,60 Ba	6,57
LED2	32,15 ± 1,36 Ba	12,04 ± 0,55 Dab	38,25 ± 1,52 Aa	16,82 ± 2,27 Ca	6,25
----- h° -----					
Controle	119,71 ± 0,57 Aa	103,44 ± 3,13 Bb	120,53 ± 0,54 Aa	118,46 ± 0,88 Aa	1,45
LED1	120,13 ± 0,09 Ba	264,04 ± 3,87 Aa	121,95 ± 0,90 Ba	121,32 ± 1,30 Ba	1,33
LED2	120,01 ± 0,81 Aa	100,13 ± 0,99 Bb	121,62 ± 0,51 Aa	118,32 ± 3,19 Aa	1,51

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas linhas ou minúsculas distintas nas colunas diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.4. Pigmentos

A suplementação luminosa não influenciou a concentração de clorofilas e carotenoides dos cotilédones dos microverdes, exceto do manjeriçã-verde, o qual apresentou redução dos teores de clorofilas a, b e totais, e de carotenoides, nas ordens de -21,9 %, -25,25 %, 22,85 % e -21,61 %, respectivamente (tabela 7). Entretanto, o controle apresentou os menores valores desses pigmentos nos hipocótilos do manjeriçã-verde (tabela 8). Em decorrência dessas diferenças das concentrações nas diferentes partes da plântula, apenas o ambiente com o conjunto LED1 influenciou o teor desses pigmentos na parte aérea total, apresentando uma redução no teor de clorofilas totais de -22,12 % e -20 % no teor de carotenoides (tabela 9).

Apesar de não ter sido acusado diferenças estatísticas para os teores de clorofilas e carotenoides nos cotilédones e parte aérea total de microverdes de coentro, identificou-se uma redução na concentração de clorofila a (-31,63 %), clorofilas totais (27,67 %) e carotenoides (30,49 %) nos hipocótilos (tabelas 7, 8 e 9).

Apenas o manjeriçã-roxo obteve diferenças estatísticas quanto à concentração de antocianinas em função dos ambientes (tabelas 7, 8 e 9). Foi identificado maiores teores de antocianinas nos cotilédones (aumento de 17,24 %) e parte aérea total (aumento de 10,81 %) desses microverdes cultivados no ambiente LED1, porém menores valores no hipocótilo. Por outro lado, o conjunto LED2 aumentou a concentração de antocianinas no hipocótilo em 25,86 % e não se diferenciou do controle nos cotilédones e parte aérea total.



**Tabela 7.** Teores de clorofila a, clorofila b, clorofilas totais e carotenoides ( $\text{mg g}^{-1}$ ), bem como de antocianinas ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) em cotilédones de microverdes de coentro, manjeriçao-roxo, manjeriçao-verde e repolho-roxo, cultivados em casa de vegetação, em diferentes tratamentos de luz: com suplementação luminosa a partir dos conjuntos LED1 (12,5 % azul/87,5 % vermelho) e LED2 (25 % azul/75 % vermelho) e iluminação natural da casa de vegetação (controle).

Ambientes	Microverdes				CV%
	Coentro	Manjeriçao-roxo	Manjeriçao-verde	Repolho-roxo	
----- Clorofila a ( $\text{mg g}^{-1}$ de cotilédone liofilizado) -----					
Controle	5,95 ± 0,24 Aa	6,53 ± 1,16 Aa	7,53 ± 0,28 Aa	6,45 ± 0,23 Aa	10,48
LED1	6,07 ± 0,11 ABa	7,03 ± 0,15 Aa	5,53 ± 0,74 Bb	6,29 ± 0,43 ABa	7,75
LED2	6,17 ± 0,13 Aa	6,54 ± 0,38 Aa	6,23 ± 0,12 Ab	6,83 ± 0,19 Aa	3,99
----- Clorofila b ( $\text{mg g}^{-1}$ de cotilédone liofilizado) -----					
Controle	1,62 ± 0,11 Ba	1,99 ± 0,40 Ba	2,95 ± 0,14 Aa	2,14 ± 0,09 Ba	11,15
LED1	1,63 ± 0,03 Ba	2,09 ± 0,06 ABa	2,12 ± 0,30 ABb	2,20 ± 0,30 Aa	10,28
LED2	1,60 ± 0,04 Ca	1,89 ± 0,13 Ba	2,29 ± 0,10 Ab	2,23 ± 0,78 Aa	4,54
----- Clorofilas totais ( $\text{mg g}^{-1}$ de cotilédone liofilizado) -----					
Controle	7,57 ± 0,33 Ba	8,52 ± 1,56 ABa	10,48 ± 0,43 Aa	8,59 ± 0,32 ABa	10,63
LED1	7,69 ± 0,13 Aa	9,12 ± 0,19 Aa	7,65 ± 1,03 Ab	8,49 ± 0,71 Aa	8,33
LED2	7,77 ± 0,15 Ba	8,43 ± 0,51 ABa	8,52 ± 0,21 ABb	9,06 ± 0,27 Aa	4,10
----- Carotenoides ( $\text{mg g}^{-1}$ de cotilédone liofilizado) -----					
Controle	1,66 ± 0,04 Aa	2,13 ± 0,37 Aa	1,99 ± 0,08 Aa	2,20 ± 0,07 Aa	10,95
LED1	1,74 ± 0,03 BCa	2,29 ± 0,06 Aa	1,44 ± 0,20 Cb	2,08 ± 0,10 ABa	6,87
LED2	1,76 ± 0,04 Ba	2,13 ± 0,13 Aa	1,68 ± 0,03 Bb	2,31 ± 0,08 Aa	4,41
----- Antocianinas ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de cotilédone liofilizado) -----					
Controle	43,55 ± 4,94 Ca	685,10 ± 43,21 Ab	31,72 ± 3,11 Ca	227,96 ± 32,98 Ba	1,11
LED1	37,64 ± 6,82 Ca	803,24 ± 9,80 Aa	38,51 ± 5,90 Ca	229,47 ± 16,42 Ba	3,81
LED2	37,73 ± 1,83 Ca	689,03 ± 5,57 Ab	34,52 ± 2,35 Ca	190,48 ± 15,38 Ba	3,49

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas linhas ou minúsculas distintas nas colunas diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 8.** Teores de clorofila a, clorofila b, clorofilas totais e carotenoides ( $\text{mg g}^{-1}$ ), bem como de antocianinas ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) em hipocótilos de microverdes de coentro, manjeriçao-roxo, manjeriçao-verde e repolho-roxo, cultivados em casa de vegetação, em diferentes tratamentos de luz: com suplementação luminosa a partir dos conjuntos LED1 (12,5 % azul/87,5 % vermelho) e LED2 (25 % azul/75 % vermelho) e iluminação natural da casa de vegetação (controle).

Ambientes	Microverdes				CV%
	Coentro	Manjeriçao-roxo	Manjeriçao-verde	Repolho-roxo	
----- Clorofila a ( $\text{mg g}^{-1}$ de hipocótilo liofilizado) -----					
Controle	1,28 ± 0,21 Aa	0,50 ± 0,02 Ba	0,72 ± 0,03 Bc	0,71 ± 0,07 Bb	15,77
LED1	0,92 ± 0,06 ABb	0,73 ± 0,17 Ba	0,97 ± 0,12 ABb	1,21 ± 0,05 Aa	12,72
LED2	0,83 ± 0,05 Bb	0,66 ± 0,05 Ba	1,34 ± 0,19 Aa	1,22 ± 0,09 Aa	10,91
----- Clorofila b ( $\text{mg g}^{-1}$ de hipocótilo liofilizado) -----					
Controle	0,22 ± 0,07 Aba	0,14 ± 0,02 BCab	0,10 ± 0,01 Cb	0,26 ± 0,04 Ab	20,24
LED1	0,21 ± 0,01 Ba	0,10 ± 0,07 Cb	0,17 ± 0,02 BCab	0,44 ± 0,05 Aa	17,11
LED2	0,21 ± 0,01 Ba	0,22 ± 0,03 Ba	0,25 ± 0,08 Ba	0,42 ± 0,06 Aa	19,64
----- Clorofilas totais ( $\text{mg g}^{-1}$ de hipocótilo liofilizado) -----					
Controle	1,50 ± 0,29 Aa	0,64 ± 0,03 Ba	0,822 ± 0,07 Bc	0,974 ± 0,09 Bb	16,31
LED1	1,13 ± 0,07 Bb	0,84 ± 0,10 Ca	1,15 ± 0,13 Bb	1,65 ± 0,10 Aa	8,98
LED2	1,04 ± 0,04 Bb	0,87 ± 0,08 Ba	1,59 ± 0,20 Aa	1,65 ± 0,15 ABa	10,53
----- Carotenoides ( $\text{mg g}^{-1}$ de hipocótilo liofilizado) -----					
Controle	0,41 ± 0,05 Aa	0,27 ± 0,01 Ba	0,31 ± 0,01 Abc	0,31 ± 0,04 Ab	12,15
LED1	0,30 ± 0,02 BCb	0,26 ± 0,03 Ca	0,39 ± 0,05 Bb	0,50 ± 0,02 Aa	10,19
LED2	0,27 ± 0,00 Cb	0,32 ± 0,01 Ba	0,48 ± 0,02 Aa	0,50 ± 0,02 Aa	4,22
----- Antocianinas ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de hipocótilo liofilizado) -----					
Controle	15,70 ± 1,84 Ca	193,96 ± 6,43 Bb	12,02 ± 1,66 Ca	252,45 ± 13,99 Aa	6,58
LED1	10,71 ± 4,66 Ca	108,68 ± 10,14 Bc	17,70 ± 6,97 Ca	299,16 ± 30,77 Aa	15,34
LED2	19,36 ± 1,64 Ba	244,11 ± 5,05 Aa	11,48 ± 1,69 Ba	290,00 ± 46,74 Aa	16,66

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas linhas ou minúsculas distintas nas colunas diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 9.** Teores de clorofila a, clorofila b, clorofilas totais e carotenoides ( $\text{mg g}^{-1}$ ), bem como de antocianinas ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) na parte aérea de microverdes de coentro, manjeriço-roxo, manjeriço-verde e repolho-roxo, cultivados em casa de vegetação, em diferentes tratamentos de luz: com suplementação luminosa a partir dos conjuntos LED1 (12,5 % azul/87,5 % vermelho) e LED2 (25 % azul/75 % vermelho) e iluminação natural da casa de vegetação (controle).

Ambientes	Microverdes				CV%
	Coentro	Manjeriço-roxo	Manjeriço-verde	Repolho-roxo	
----- Clorofila a ( $\text{mg g}^{-1}$ de parte aérea liofilizada) -----					
Controle	3,61 $\pm$ 0,02 Aa	3,52 $\pm$ 0,59 Aa	4,12 $\pm$ 0,15 Aa	3,58 $\pm$ 0,08 Aa	9,27
LED1	3,50 $\pm$ 0,09 Aa	3,88 $\pm$ 0,16 Aa	3,25 $\pm$ 0,43 Ab	3,75 $\pm$ 0,24 Aa	8,05
LED2	3,5 $\pm$ 0,08 Ba	3,60 $\pm$ 0,21 ABa	3,79 $\pm$ 0,20 ABa	4,03 $\pm$ 0,14 Aa	4,56
----- Clorofila b ( $\text{mg g}^{-1}$ de parte aérea liofilizada) -----					
Controle	0,82 $\pm$ 0,04 Ba	1,06 $\pm$ 0,20 Ba	1,52 $\pm$ 0,08 Aa	1,20 $\pm$ 0,06 ABa	10,64
LED1	0,92 $\pm$ 0,02 Ba	1,10 $\pm$ 0,04 ABa	1,15 $\pm$ 0,15 ABb	1,32 $\pm$ 0,17 Aa	9,87
LED2	0,90 $\pm$ 0,03 Ca	1,05 $\pm$ 0,08 BCa	1,44 $\pm$ 0,36 Aa	1,33 $\pm$ 0,07 ABa	10,95
----- Clorofilas totais ( $\text{mg g}^{-1}$ de parte aérea liofilizada) -----					
Controle	4,54 $\pm$ 0,06 Aa	4,58 $\pm$ 0,79 Aa	5,65 $\pm$ 0,24 Aa	4,78 $\pm$ 0,13 Aa	9,58
LED1	4,41 $\pm$ 0,10 Aa	4,98 $\pm$ 0,14 Aa	4,40 $\pm$ 0,58 Ab	5,07 $\pm$ 0,40 Aa	8,28
LED2	4,40 $\pm$ 0,10 Ba	4,65 $\pm$ 0,29 ABa	5,22 $\pm$ 0,56 Aa	5,35 $\pm$ 0,21 Aa	5,77
----- Carotenoides ( $\text{mg g}^{-1}$ de parte aérea liofilizada) -----					
Controle	1,03 $\pm$ 0,01 Aa	1,20 $\pm$ 0,19 Aa	1,15 $\pm$ 0,04 Aa	1,25 $\pm$ 0,02 Aa	9,46
LED1	1,02 $\pm$ 0,03 Ba	1,27 $\pm$ 0,01 Aa	0,92 $\pm$ 0,12 Bb	1,29 $\pm$ 0,06 Aa	6,99
LED2	1,02 $\pm$ 0,02 Ca	1,22 $\pm$ 0,07 Ba	1,08 $\pm$ 0,02 Ca	1,41 $\pm$ 0,05 Aa	4,27
----- Antocianinas ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de parte aérea liofilizada) -----					
Controle	27,82 $\pm$ 2,67 Ca	490,48 $\pm$ 56,67 Ab	35,79 $\pm$ 5,52 Ca	253,37 $\pm$ 6,69 Ba	14,21
LED1	55,78 $\pm$ 12,50 Ca	543,49 $\pm$ 9,89 Aa	33,80 $\pm$ 4,75 Ca	247,79 $\pm$ 12,34 Ba	4,70
LED2	33,97 $\pm$ 3,25 Ca	473,01 $\pm$ 7,68 Ab	24,82 $\pm$ 3,19 Ca	263,44 $\pm$ 14,41 Ba	4,26

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas linhas ou minúsculas distintas nas colunas diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.5. Antioxidantes

O repolho-roxo foi o microverde com maior teor de ácido ascórbico, sendo que esse microverde e o manjeriço-roxo apresentaram os maiores teores de quercetina (tabela 10). A suplementação luminosa com LED2 aumentou a concentração de ácido ascórbico em coentro e manjeriço roxo em relação ao controle e LED1. Em manjeriço verde e repolho roxo, as maiores concentrações de ácido ascórbico foram detectadas no ambiente sem suplementação luminosa. A maior concentração de quercetina, por sua vez, foi obtida no ambiente com LED1 para o coentro, em relação ao controle e LED2, sendo que os demais microverdes não tiveram suas concentrações de quercetina afetadas pela suplementação luminosa.

**Tabela 10.** Teores de ácido ascórbico total e quercetina em microverdes de coentro, manjeriço-roxo, manjeriço-verde e repolho-roxo, cultivados em casa de vegetação, em diferentes tratamentos de luz: com suplementação luminosa a partir dos conjuntos LED1 (12,5 % azul/87,5 % vermelho) e LED2 (25 % azul/75 % vermelho) e iluminação natural da casa de vegetação (controle).

Ambientes	Microverdes				CV%
	Coentro	Manjeriço-roxo	Manjeriço-verde	Repolho-roxo	
----- Ácido ascórbico total ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de amostra liofilizada) -----					
Controle	59,70 $\pm$ 0,71 Bc	30,56 $\pm$ 0,05 Cc	60,74 $\pm$ 0,20 Ba	628,16 $\pm$ 0,48 Aa	0,23
LED1	77,82 $\pm$ 0,46 Bb	58,21 $\pm$ 0,33 Cb	27,46 $\pm$ 1,03 Dc	406,43 $\pm$ 2,31 Ac	0,91
LED2	106,27 $\pm$ 0,17 Ba	76,84 $\pm$ 0,10 Da	55,48 $\pm$ 0,16 Cb	437,18 $\pm$ 0,30 Ab	0,12
----- Quercetina ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de amostra liofilizada) -----					
Controle	336,68 $\pm$ 14,32 Bc	438,24 $\pm$ 30,46 Aa	271,46 $\pm$ 6,20 Ca	396,7 $\pm$ 9,53 Aa	4,92
LED1	424,28 $\pm$ 3,77 ABa	454,92 $\pm$ 14,08 Aa	237,36 $\pm$ 22,95 Ca	404,55 $\pm$ 8,37 Ba	3,74
LED2	387,41 $\pm$ 17,77 Bb	440,89 $\pm$ 16,36 Aa	258,64 $\pm$ 13,52 Ca	407,10 $\pm$ 26,26 ABa	5,11

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas linhas ou minúsculas distintas nas colunas diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.6. Análise de imagens

De acordo com os dados extraídos pelo SeedReporter (tabela 11), apenas os manjericões apresentaram diferenças estatísticas para a variável Fv/Fm nos diferentes ambientes. A suplementação luminosa diminuiu a relação Fv/Fm das plântulas de manjericão-roxo, tendo o menor valor no ambiente LED2. No entanto, o manjericão-verde obteve maior valor desta variável quando cultivado em LED2. O coentro e o repolho-roxo foram os microverdes que obtiveram as maiores relações Fv/Fm.

O ChlIdx mostrou alta correlação linear com o conteúdo de clorofilas totais dos cotilédones de manjericão-roxo ( $R^2=0,81$ ), média em coentro ( $R^2=0,63$ ) e baixa em manjericão-verde ( $R^2=0,32$ ) e repolho-roxo ( $R^2=0,45$ ). Conforme obtido por este equipamento, apenas o repolho-roxo apresentou influência da suplementação luminosa no ChlIdx, sendo o maior valor obtido no ambiente LED2, e o menor no controle.

O AriIdx teve baixa correlação com o conteúdo deste pigmento obtido na análise bioquímica dos cotilédones de todos os microverdes. Apenas os microverdes de folhas verdes apresentaram diferenças estatísticas quanto ao AriIdx. A adição de luz pelo conjunto LED2 aumentou significativamente o AriIdx em 8,5 % nos microverdes de coentro, quando comparado ao controle, e diminuiu em -7,92 % em manjericão-verde, em relação ao conjunto LED1.

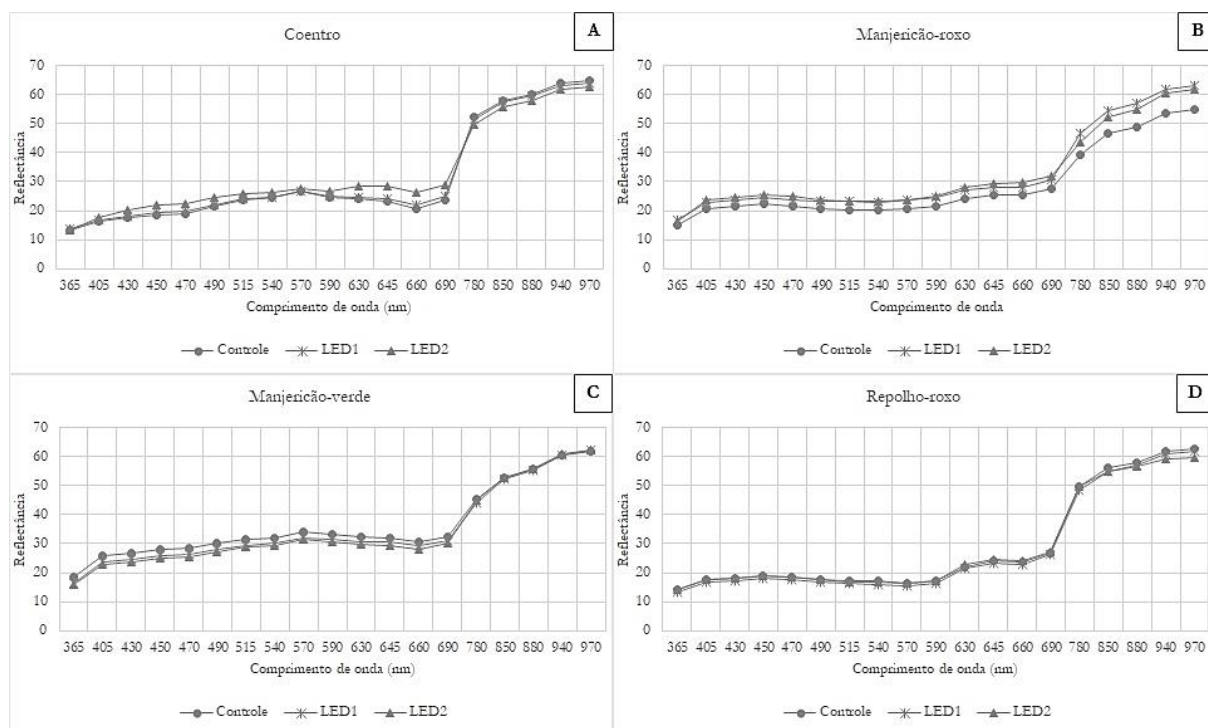
A Chl<sub>710</sub> foi influenciada pelo ambiente de cultivo em todos os microverdes. Ambos os conjuntos de LEDs diminuíram a Chl<sub>710</sub> no coentro. O ambiente LED1 aumentou esta variável no manjericão-roxo, porém, diminuiu em repolho-roxo. O conjunto LED2 manteve a mesma Chl<sub>710</sub> nesta espécie e reduziu em manjericão-verde.

**Tabela 11.** Eficiência do fotossistema II (Fv/Fm), índice de clorofilas (ChlIdx), índice de antocianinas (AriIdx) e fluorescência de clorofilas a 710 nm (Chl<sub>710</sub>) em microverdes de coentro, manjericão-roxo, manjericão-verde e repolho-roxo, cultivados em casa de vegetação, em diferentes tratamentos de luz: com suplementação luminosa a partir dos conjuntos LED1 (12,5 % azul/87,5 % vermelho) e LED2 (25 % azul/75 % vermelho) e iluminação natural da casa de vegetação (controle).

Ambientes	Microverdes				CV%
	Coentro	Manjericão-roxo	Manjericão-verde	Repolho-roxo	
----- Fv/Fm -----					
Controle	0,769 ± 0,001 Aa	0,754 ± 0,002 Ba	0,706 ± 0,009 Cb	0,757 ± 0,004 ABa	0,70
LED1	0,770 ± 0,005 Aa	0,736 ± 0,005 Bb	0,696 ± 0,001 Cb	0,7605 ± 0,002 Aa	0,55
LED2	0,765 ± 0,004 Aa	0,698 ± 0,016 Bc	0,719 ± 0,001 Ba	0,762 ± 0,003 Aa	1,15
----- ChlIdx -----					
Controle	2,484 ± 0,021 ABa	2,341 ± 0,172 Ba	2,707 ± 0,025 Aa	2,431 ± 0,144 ABb	4,56
LED1	2,541 ± 0,065 ABa	2,442 ± 0,011 Ba	2,747 ± 0,152 Aa	2,573 ± 0,036 ABab	3,30
LED2	2,539 ± 0,007 Ba	2,277 ± 0,004 Ca	2,829 ± 0,015 Aa	2,758 ± 0,055 Aa	1,11
----- AriIdx -----					
Controle	4,849 ± 0,015 Cb	9,704 ± 0,098 Aa	4,493 ± 0,065 Dab	9,275 ± 0,207 Ba	1,69
LED1	4,980 ± 0,049 Bab	9,750 ± 0,042 Aa	4,646 ± 0,403 Ba	9,366 ± 0,021 Aa	2,84
LED2	5,260 ± 0,078 Ca	9,634 ± 0,070 Aa	4,278 ± 0,029 Db	9,358 ± 0,050 Ba	0,84
----- Chl <sub>710</sub> -----					
Controle	40393 ± 320 Aa	24012 ± 872,5 Db	39010 ± 20 Ba	32874 ± 245 Ca	1,41
LED1	38626 ± 543 Ab	25911 ± 126,5 Ca	38114 ± 568 Aab	31099 ± 609 Bb	1,49
LED2	38315 ± 829 Ab	24785 ± 2174 Cab	36814 ± 594 ABb	33963 ± 335 Ba	3,62

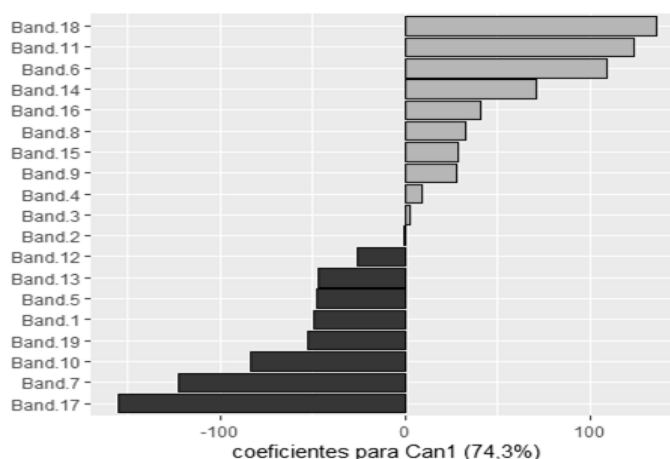
Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas linhas ou minúsculas distintas nas colunas diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p<0,05$ ).

Como pode ser visualizado na figura 2, todos os microverdes obtiveram maior reflectância nos comprimentos de onda de 780 a 970 nm, os quais estão associados à presença de água e componentes estruturais (GAMON et al., 2019; XIAOBO et al., 2010). O manjeriçao-roxo e o repolho-roxo apresentaram picos suaves nas suas curvas nos comprimentos de onda do vermelho, violeta e azul, e ligeira queda no espectro do verde devido à coloração arroxeadada dos genótipos. Na figura 2.A é possível observar que a curva do ambiente LED2 se sobressai nas bandas de 450 a 490 e 630 a 690 nm, nos espectros do azul e vermelho, respectivamente. As curvas de reflectância das amostras de manjeriçao-roxo cultivadas nos ambientes com suplementação luminosa ficaram acima da curva de reflectância gerada pelas amostras do controle, principalmente das bandas de 780 a 970 nm (figura 2.B); enquanto que, em manjeriçao-verde, ficaram logo abaixo, considerando o intervalo das bandas de 365 a 690 nm (figura 2.C).



**Figura 4.** Reflectância das amostras de microverdes de coentro (A), manjeriçao-roxo (B), manjeriçao-verde (C) e repolho-roxo (D) nas bandas de comprimentos de ondas de 365, 405, 430, 450, 470, 490, 515, 540, 570, 590, 630, 645, 660, 690, 780, 850, 880, 940 e 970 nm, cultivadas em ambientes sem suplementação luminosa (controle) e com suplementação luminosa com os conjuntos LED1 (12,5 % azul/87,5 % vermelho) e LED2 (25 % azul/75 % vermelho).

O resultado da análise de variância multivariada dos dados obtidos pelo equipamento VideoMeterLab mostrou um efeito significativo ( $p < 0,01$ ) da combinação entre o ambiente de cultivo (iluminação) e as espécies/cultivares de microverdes. Na análise de nCDA foi obtido que a primeira variável canônica pôde explicar 74,3 % da variabilidade dos dados obtidos pelas bandas de 1 a 19, referentes aos comprimentos de ondas, em sequência, 630, 365, 405, 430, 450, 470, 490, 515, 540, 570, 590, 645, 660, 690, 780, 850, 880, 940 e 970 nm, enquanto a segunda variável canônica explicou apenas 23,1 % do total de informações. Portanto, apenas a primeira variável canônica foi utilizada para observação da expressividade das bandas, obtendo-se que as bandas 18, 11, 6, 14, 17, 7 e 10 foram as mais expressivas, ou seja, que tiveram maior variação entre os ambientes de cultivo e as espécies ou cultivares de microverdes (figura 3).



**Figura 5.** Distribuição dos coeficientes da primeira variável canônica para cada banda espectral. As bandas de 1 a 19 referem-se, respectivamente, aos comprimentos de onda 630, 365, 405, 430, 450, 470, 490, 515, 540, 570, 590, 645, 660, 690, 780, 850, 880, 940 e 970 nm.

A suplementação luminosa aumentou a reflectância das bandas de 470, 490, 570, 590, 690, 880 e 940 nm em manjerição-roxo, porém, não influenciou nenhuma banda das imagens de amostras de repolho-roxo (tabela 12). Os microverdes de coentro cultivados no ambiente com o conjunto LED2 tiveram maiores valores de reflectância nas bandas de 470, 490 e 690 nm. No entanto, as plântulas de manjerição-verde cultivadas neste ambiente obtiveram os menores valores em 470, 490, 570 e 590 nm.

**Tabela 12.** Valores de reflectância, em níveis de cinza, das bandas 470, 490, 570, 590, 690, 880 e 940 nm, obtidos de microverdes de coentro, manjerição-roxo, manjerição-verde e repolho-roxo, cultivados em casa de vegetação, em diferentes tratamentos de luz: com suplementação luminosa a partir dos conjuntos LED1 (12,5 % azul/87,5 % vermelho) e LED2 (25 % azul/75 % vermelho) e iluminação natural da casa de vegetação (controle).

Ambientes	Microverdes				CV%
	Coentro	Manjerição-roxo	Manjerição-verde	Repolho-roxo	
----- Reflectância a 470 nm -----					
Controle	18,97 ± 1,31 Bb	21,61 ± 2,22 Bb	28,41 ± 1,03 Aa	18,61 ± 1,36 Ba	7,07
LED1	19,64 ± 0,16 Cb	23,91 ± 0,47 Ba	26,25 ± 0,87 Aab	17,73 ± 1,08 Ca	3,36
LED2	22,55 ± 2,16 Aa	24,86 ± 1,01 Aa	25,35 ± 0,55 Ab	18,49 ± 0,92 Ba	5,73
----- Reflectância a 490 nm -----					
Controle	21,71 ± 1,11 Bb	20,66 ± 2,39 Bb	30,15 ± 1,21 Aa	17,64 ± 1,38 Ba	7,12
LED1	22,08 ± 0,16 Bb	23,23 ± 0,69 Ba	28,15 ± 0,77 Aab	16,70 ± 1,01 Ca	3,23
LED2	24,38 ± 1,78 ABa	23,79 ± 1,08 Ba	27,36 ± 0,72 Ab	17,41 ± 0,95 Ca	5,17
----- Reflectância a 570 nm -----					
Controle	26,83 ± 0,78 Ba	20,80 ± 2,71 Cb	34,01 ± 1,51 Aa	16,30 ± 1,28 Ca	7,04
LED1	26,67 ± 0,71 Ba	23,72 ± 0,98 Ca	32,15 ± 0,55 Aab	15,46 ± 0,83 Da	3,19
LED2	27,50 ± 1,01 Ba	23,86 ± 1,20 Ca	31,44 ± 1,10 Ab	16,16 ± 0,92 Da	4,29
----- Reflectância a 590 nm -----					
Controle	24,67 ± 0,87 Ba	21,63 ± 2,68 Bb	33,04 ± 1,47 Aa	17,01 ± 1,34 Ca	7,16
LED1	24,92 ± 0,54 Ba	24,51 ± 0,95 Ba	31,31 ± 0,53 Aab	16,23 ± 0,97 Ca	3,21
LED2	26,70 ± 1,68 Ba	24,94 ± 1,19 Ba	30,45 ± 1,23 Ab	17,05 ± 0,94 Ca	5,10
----- Reflectância a 690 nm -----					
Controle	23,90 ± 1,41 Bb	27,60 ± 2,70 ABb	32,56 ± 1,38 Aa	26,88 ± 1,98 Ba	7,01
LED1	24,93 ± 0,11 Bb	30,63 ± 0,88 Aa	31,10 ± 0,46 Aa	26,18 ± 1,52 Ba	3,22
LED2	29,01 ± 3,22 ABa	32,06 ± 0,71 Aa	30,01 ± 0,98 ABa	27,24 ± 0,62 Ba	5,91
----- Reflectância a 880 nm -----					
Controle	60,22 ± 0,23 Aa	49,09 ± 6,96 Bb	55,70 ± 0,59 ABa	58,16 ± 1,89 ABa	6,49
LED1	59,58 ± 1,23 Aa	57,15 ± 0,48 BCa	55,23 ± 0,61 Ca	57,30 ± 0,51 Ba	1,34
LED2	57,89 ± 0,21 Aa	55,06 ± 0,22 Ba	55,68 ± 0,86 Ba	56,74 ± 0,97 ABa	1,18
----- Reflectância a 940 nm -----					
Controle	64,02 ± 0,47 Aa	53,82 ± 7,16 Bb	60,76 ± 0,31 ABa	61,83 ± 1,71 ABa	6,14
LED1	63,21 ± 1,13 Aa	62,02 ± 0,55 ABa	60,76 ± 0,46 Ba	61,07 ± 0,32 Ba	1,11
LED2	61,71 ± 0,56 Aa	60,44 ± 0,21 ABa	60,99 ± 0,68 ABa	59,50 ± 0,98 Ba	1,10

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas linhas ou minúsculas distintas nas colunas diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

As clorofilas de plântulas de coentro cultivadas no conjunto LED2 excitaram-se menos quando iluminadas por LEDs a 630, 645 e 660 nm, enquanto os microverdes de manjeriçã-roxo tiveram suas clorofilas mais excitadas quando cultivadas sob o conjunto LED1. O ambiente LED2, também, promoveu maior fluorescência de clorofilas a 630 nm (Chl<sub>630</sub>) no manjeriçã-verde. O repolho-roxo não obteve diferenças significativas quanto à fluorescência de suas clorofilas. Todos os genótipos obtiveram menores valores de fluorescência a 630 nm, mostrando que as clorofilas são mais excitadas a 645 e 660 nm.

**Tabela 13.** Valores de fluorescência de clorofilas, em níveis de cinza, a 630 (Chl<sub>630</sub>), 645 (Chl<sub>645</sub>) e 660 nm (Chl<sub>660</sub>) obtidos de microverdes de coentro, manjeriçã-roxo, manjeriçã-verde e repolho-roxo, cultivados em casa de vegetação, em diferentes tratamentos de luz: com suplementação luminosa a partir dos conjuntos LED1 (12,5 % azul/87,5 % vermelho) e LED2 (25 % azul/75 % vermelho) e iluminação natural da casa de vegetação (controle).

Ambientes	Microverdes				CV%
	Coentro	Manjeriçã-roxo	Manjeriçã-verde	Repolho-roxo	
----- Chl <sub>630</sub> -----					
Controle	83,18 ± 3,19 Aa	45,55 ± 9,53 Cb	49,61 ± 1,70 Cb	63,96 ± 3,74 Ba	8,96
LED1	78,70 ± 4,30 Aa	57,19 ± 3,33 Ba	55,27 ± 2,75 Bab	62,35 ± 2,78 Ba	5,29
LED2	64,87 ± 7,55 Ab	46,10 ± 2,02 Bb	59,24 ± 2,63 Aa	62,10 ± 1,83 Aa	7,27
----- Chl <sub>645</sub> -----					
Controle	165,14 ± 6,59 Aa	86,32 ± 22,03 Bb	90,29 ± 3,34 Ba	145,17 ± 13,95 Aa	11,13
LED1	158,30 ± 10,01 Aa	115,45 ± 5,97 Ba	103,58 ± 5,10 Ba	141,95 ± 1,59 Aa	4,94
LED2	129,24 ± 16,37 ABb	86,13 ± 4,43 Cb	111,17 ± 6,80 Ba	143,75 ± 2,77 Aa	7,86
----- Chl <sub>660</sub> -----					
Controle	153,41 ± 4,78 Aa	94,19 ± 20,68 Bb	94,57 ± 3,66 Ba	148,52 ± 13,15 Aa	10,29
LED1	146,75 ± 7,22 Aa	124,96 ± 4,53 Ba	106,05 ± 4,69 Ca	145,16 ± 4,30 Aa	4,07
LED2	125,15 ± 11,26 Bb	97,50 ± 3,69 Cb	112,70 ± 5,61 BCa	146,60 ± 1,72 Aa	5,49

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas linhas ou minúsculas distintas nas colunas diferem entre si segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## 5. DISCUSSÃO

De acordo com os resultados das variáveis biométricas e bioquímicas, bem como dos teores de nutrientes e das imagens multiespectrais, é possível observar uma heterogeneidade dos efeitos da suplementação luminosa em função dos genótipos de microverdes e da qualidade da luz.

Apesar de Jones-Baumgardt, Llewellyn e Zheng (2020) terem observado um aumento no teor de massas frescas e secas devido à suplementação luminosa em microverdes de girassol, couve, rúcula e mostarda, no nosso estudo esse aumento ocorreu apenas em manjerição-verde sob o conjunto LED2 (tabela 3). No entanto, o ambiente sem suplementação luminosa desses autores recebeu uma DLI média de apenas 6,2  $\text{mols m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , enquanto os microverdes de coentro, manjerição-roxo, manjerição-verde e repolho-roxo do ambiente controle do nosso estudo receberam uma intensidade luminosa duas vezes maior 12,04  $\text{mols m}^{-2} \text{d}^{-1}$ . Essa diferença entre os ambientes controle pode ter influenciado nas repostas dos microverdes no nosso estudo. Este aumento na massa está associado à redução da área foliar específica e aumento do diâmetro do hipocótilo, e, conseqüentemente, do índice de robustez (volume do hipocótilo multiplicado pelo seu comprimento), indicando maior espessura dos tecidos da parte aérea (JONES-BAUMGARDT; LLEWELLYN; ZHENG, 2020).

Dentre os atributos de crescimento que são importantes para a comercialização de microverdes pode-se citar o comprimento do hipocótilo, uma vez que os produtores preferem plântulas alongadas, maiores que 5 cm, para facilitar a colheita, apesar de reduzir o índice de robustez e influenciar na vida de prateleira, a qual é considerada um fator limitante da produção comercial de microverdes (CHANDRA; KIM; KIM, 2012; JONES-BAUMGARDT; LLEWELLYN; ZHENG, 2020). Além disso, uma maior espessura dos tecidos gera maior crocância do produto e, portanto, maior preferência por parte dos consumidores (FONTANA et al., 2018). Foi observado uma redução significativa do comprimento do hipocótilo das plântulas de coentro quando se aumentou a DLI de 11,02 para 21,58  $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (tabela 3), assim como foi observado por outros autores em microverdes de mostarda, couve, repolho, rúcula, couve-rábano e mizuna (GEROVAC et al., 2016; JONES-BAUMGARDT et al., 2019; JONES-BAUMGARDT; LLEWELLYN; ZHENG, 2020). No entanto, o repolho-roxo apresentou aumento desta variável no ambiente com suplementação luminosa com o conjunto LED2 (tabela 3), discordando dos resultados obtidos para microverdes da família Brassicaceae obtidos por diversos autores (GEROVAC et al., 2016; JONES-BAUMGARDT et al., 2019; SAMUOLIENÉ et al., 2013). Em populações com alta densidade de plantas, como no caso do cultivo de microverdes, ocorrem respostas contra o sombreamento devido à baixa relação de radiação na faixa do vermelho e vermelho extremo (V/VE), como o estiolamento. No entanto, a maioria dos autores citados anteriormente, que obtiveram redução do comprimento do hipocótilo, cultivou microverdes em ambiente indoor, sem adição de luz no espectro do vermelho extremo ( $\approx 730 \text{ nm}$ ), não sofrendo influência da relação V/VE, ao contrário do ambiente no interior da casa de vegetação, que recebe luz solar, a qual possui relação próxima a 1,4 (SHIBUYA et al., 2016). Além disso, a densidade de semeadura utilizada para as espécies de Brassicaceae nessas pesquisas citadas anteriormente foi muito menor que a usada no presente trabalho para o repolho-roxo, bem como a nutrição das plântulas foi feita de formas distintas, podendo ter gerado essas diferenças nos resultados observados.

É possível que o manjerição-verde tenha sofrido fotoinibição em decorrência da suplementação luminosa, uma vez que houve degradação de clorofilas e carotenoides dos cotilédones (tabela 7), menor teor de N e redução de  $\text{Chl}_{710}$  (tabela 11). Através do gráfico de reflectância (figura 2.A), é possível perceber que a curva dos microverdes do ambiente sem iluminação artificial ficou acima das demais no espectro do visível, que está ligado à concentração de pigmentos. No entanto, as amostras do ambiente com o conjunto LED2 obtiveram a maior relação  $F_v/F_m$  e  $\text{Chl}_{630}$

(tabelas 11 e 13), o que contribuiu para o aumento de massa (tabela 3). É importante ressaltar que o equipamento VideoMeterLab mediu a parte aérea toda das amostras e o hipocótilo não sofreu degradação de clorofilas no tratamento com maior porcentagem de azul, de acordo com as análises bioquímicas, evidenciando que uma maior proporção de luz azul no espectro pode aumentar a eficiência fotossintética em manjeriço, estando, portanto, de acordo com os dados de Pennisi et al. (2019).

Folhas expostas a uma quantidade de luz maior do que podem utilizar têm seus centros de reação do fotossistema II inativados e frequentemente danificados, sofrendo fotoinibição, a qual causa rompimento da estrutura dos cloroplastos e reduz as taxas fotossintéticas (TAIZ; ZEIGER, 2013b). Conforme Brazaityte et al. (2015), o aumento da intensidade luminosa pode elevar o teor de carotenoides em microverdes. Esse maior acúmulo de carotenoides ocorre para reduzir o estresse causado pela luz (DEMMIG-ADAMS; ADAMS, 1996). Porém, intensidades luminosas muito altas podem diminuir sua concentração devido à fotodegradação das moléculas do pigmento (BRAZAITYTE et al., 2015). Kopsell et al. (2012) obtiveram reduções da concentração de clorofilas,  $\beta$ -caroteno e neoxantina com o aumento da intensidade luminosa de  $275 \mu\text{mol s}^{-1}$  para  $463 \mu\text{mol s}^{-1}$ . Porém, com o aumento da intensidade luminosa, houve, também, aumento da concentração de zeaxantina e anteraxantina. O manjeriço-verde possui menor quantidade dos flavonoides quercetina e antocianinas comparado com os demais microverdes analisados (tabela 10), o que pode ser uma explicação para apenas este genótipo ter sofrido fotoinibição. As antocianinas são pigmentos avermelhados ou arroxeados que funcionam como uma cobertura contra a fotoinibição (ZHANG et al., 2016). Apesar de não ter sido evidenciado um aumento na concentração de antocianinas nas análises bioquímicas, as imagens multiespectrais mostraram um aumento significativo do  $\text{AriIdx}$  no tratamento LED1 (tabela 11).

A suplementação luminosa também diminuiu a concentração de N e a relação  $F_v/F_m$  das plântulas de manjeriço-roxo (tabelas 4 e 11), indicando redução da eficiência dos centros de reação do fotossistema II, mas não interferiu na concentração de clorofilas e carotenoides da parte aérea (tabela 9). A relação  $F_v/F_m$  é um método de análise de estresses ambientais, como o excesso de luz, os quais podem aumentar a produção de antocianinas (GOULD, 2004), conforme observado no manjeriço-roxo, uma vez que ocorreu maior acúmulo deste flavonoide nos cotilédones (tabela 7) e hipocótilos (tabela 8) de plântulas cultivadas nos ambientes com os conjuntos LED1 e LED2, respectivamente. Estes resultados de incremento na concentração de antocianinas em decorrência da adição de luz no espectro do azul e do vermelho também foram observadas por outros autores (MIZUNO; AMAKI; WATANABE, 2009; QIAN et al., 2016). Em concordância, as maiores reflectâncias mostradas na figura 2.B e tabela 12, sugerem uma maior quantidade de pigmentos, água, lipídeos e componentes estruturais nas plântulas cultivadas com suplementação luminosa (GAMON et al., 2019; OLESEN; VAN DUJIN; BOELT, 2014; XIAOBO et al., 2010). A fluorescência de clorofilas obtida por ambos os equipamentos de imagens espectrais (tabelas 11 e 13), evidenciou um aumento desta variável pelo tratamento LED1, enquanto o LED2 não se diferenciou do controle, mostrando que a qualidade da luz pode influenciar esta característica. No entanto, compostos como flavonoides localizados na epiderme atenuam a passagem de luz para o mesófilo, onde se encontram as clorofilas, reduzindo a fluorescência (ZIVCAK et al., 2017).

Assim como houve aumento no teor de antocianinas nos cotilédones de microverdes de manjeriço-roxo cultivados no ambiente LED1, ocorreu um aumento bastante expressivo no  $h^\circ$  e diminuição da  $C^*$  (tabela 6), deixando os cotilédones mais azulados e opacos. Dessa forma, há uma possível ligação entre a luz vermelha e o acúmulo de antocianinas azuladas em manjeriço-roxo. É sabido que a adição de luz no espectro do azul diminui o  $h^\circ$ , deixando as folhas mais avermelhadas devido ao acúmulo de antocianinas (YING et al., 2020), porém, não foram encontradas pesquisas que relacionem qualidade da luz e  $h^\circ$  em folhosas com  $h^\circ$  próximo a  $270^\circ$ .



Do mesmo modo como foi observado no manjeriçã-verde, é possível que o coentro também tenha sofrido certo estresse causado pela suplementação luminosa, uma vez que apresentou menor teor de clorofilas e carotenoides nos hipocótilos (tabela 8) e menor Chl<sub>710</sub> (tabela 11) em ambos os ambientes com LEDs, e os menores valores de Fv/Fm (tabela 11), fluorescência de clorofilas (tabela 13) e N no conjunto LED2. Embora não tenha sido evidenciado um aumento na concentração de antocianinas na análise bioquímica, foi obtido um aumento do AriIdx e nas reflectâncias nos espectros do azul e vermelho (tabelas 11 e 12), sugerindo que tenha ocorrido um aumento no teor de antocianinas ocasionado pelo ambiente LED2.

Em decorrência desse possível estresse, os microverdes de coentro obtiveram maiores quantidades de quercetina, a qual é um dos flavonoides mais abundantes em plântulas de coentro (KYRIACOU et al., 2019), e de ácido ascórbico (tabela 10), uma vez que os antioxidantes atuam na fisiologia do estresse como sequestradores de espécies reativas de oxigênio nas plantas (GRATÃO et al., 2005). A vitamina C também pode ser mais sintetizada em decorrência da maior taxa fotossintética que pode ocorrer quando se adiciona luz suplementar, uma vez que a hexose e D-glucose são as precursoras de sua síntese (TOLEDO et al., 2003). O aumento do conteúdo de ácido ascórbico também foi observado em manjeriçã-roxo (tabela 10). Conforme Andrejiová et al. (2017), a suplementação luminosa com lâmpadas fluorescentes também ocasionou aumento em microverdes de amaranto, mostarda, rabanete, ervilha, rúcula selvagem e cenoura. Embora Samuolienė et al. (2016) obtiveram incremento no conteúdo de ácido ascórbico em decorrência da luz vermelha (665 e 638 nm) suplementar em microverdes de manjeriçã-verde, os tratamentos com suplementação luminosa em manjeriçã-verde e repolho-roxo diminuíram o conteúdo deste antioxidante, principalmente no tratamento com maior proporção de vermelho (LED1). Além disso, todos os microverdes apresentaram maior conteúdo de vitamina C no ambiente com o conjunto LED2 quando comparado ao LED1 (tabela 10), podendo observar uma influência da luz no espectro do azul no acúmulo do ácido ascórbico. Vaštakaitė et al. (2015) sugerem que a regulação deste antioxidante pelas variações entre proporções de luzes nos espectros do azul e do vermelho seja dependente da espécie. Comparando os resultados obtidos com outros trabalhos publicados (BRAZAITYTE et al., 2016; SAMUOLIENĖ et al., 2016; VAŠTAKAITĖ et al., 2015), pode-se observar que além do genótipo, a regulação depende, também, do sistema de cultivo.

Outra característica que variou bastante em função do genótipo dos microverdes, foi quanto às quantidades de macro e micronutrientes da parte aérea (tabelas 4 e 5). De acordo com Gerovac et al. (2016), o aumento na intensidade luminosa aumenta o teor de massa seca de microverdes, diminuindo a concentração de macro e micronutrientes em decorrência da maior diluição dos nutrientes na massa, o que não pôde ser claramente visualizado, principalmente nos microverdes de manjeriçã-verde, uma vez que apresentaram aumento na concentração de todos os micronutrientes em decorrência da suplementação luminosa (tabela 5). Embora Kopsell et al. (2014) tenham encontrado que quanto maior a proporção de luz azul (442-452 nm) do espectro luminoso, maior a quantidade de Ca, Mg, P, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn em microverdes de brócolis, foi observado redução dos teores de Ca e B em coentro, Mg, P, B, Cu, Fe, Mn e Zn em manjeriçã-roxo e repolho-roxo, e S apenas em manjeriçã-roxo, no ambiente com o conjunto LED2. Dessa forma, os genótipos com maiores quantidades de antocianinas sofreram diminuição no acúmulo desses minerais, enquanto os microverdes de coloração verde se beneficiaram ou não foram impactados pela maior proporção de luz no espectro do azul. No entanto, as soluções nutritivas usadas tanto por Gerovac et al. (2016) quanto por Kopsell et al. (2014) possuíam menores concentrações de quase todos os nutrientes quando comparadas com a solução nutritiva utilizada em nosso experimento, o que pode ter gerado essas diferenças entre os resultados dos estudos. Segundo Kopsell, Sams e Morrow (2015) o efeito da luz azul no acúmulo de minerais ainda não é clara, porém, sugerem que as fototropinas estejam ligadas a essa regulação. As fototropinas são receptores de luz azul que regulam o fototropismo

do hipocótilo e seus efeitos são mediados por mudanças na homeostase do íon  $\text{Ca}^{2+}$  (ZHAO et al., 2013). Em condições de alta intensidade de luz azul, a fototropina causa aumento no íon  $\text{Ca}^{2+}$  do citosol por meio da liberação deste íon do vacúolo e através dos canais da membrana plasmática (HARADA; SHIMAZAKI, 2007). Dessa forma, a exposição à luz azul pode causar mudanças significativas na atividade de transporte das membranas das células guarda por meio de variações nos fluxos de prótons  $\text{K}^+$  e  $\text{H}^+$  e no pH (BABOURINA; NEWMAN; SHABALA, 2002), promovendo a abertura estomática, fazendo com que a planta absorva mais nutrientes da solução nutritiva. No entanto, a interceptação luminosa causa fotoisomerização dos complexos do cromóforo, os quais levam à regulação gênica de vias bioquímicas específicas (KOPSELL; SAMS; MORROW, 2015), podendo gerar respostas diferenciadas de acordo com o genótipo.

Plantas sadias geralmente apresentam  $F_v/F_m$  de cerca de 0,83 (MAXWELL; JOHNSON, 2000), o que indica que todas as plântulas do experimento foram submetidas ao estresse abiótico (tabela 11), muito provavelmente devido às altas temperaturas alcançadas no interior da casa de vegetação (gráfico 1), que podem ter aumentado a fotorrespiração, limitando a eficiência da assimilação fotossintética do carbono e estimulando o ciclo oxidativo fotossintético (TAIZ; ZEIGER, 2013b). Até o que se sabe, este é o único trabalho em que foi registrado temperaturas superiores a 30 °C no cultivo de microverdes, portanto, os resultados obtidos podem ter sofrido interferência desse estresse, fazendo com que ocorressem divergências quando comparados a outros estudos.

Tendo em vista todos os resultados obtidos neste trabalho, é possível dizer que as respostas dos microverdes à suplementação luminosa empregada neste estudo são dependentes das características morfofisiológicas e genéticas que influenciam na síntese e degradação de pigmentos e antioxidantes, na eficiência do aparato fotossintético e nos teores de minerais e massa. Dessa forma, o estudo das características biométricas e bioquímicas de diferentes genótipos de microverdes em função da qualidade da luz, além da intensidade e fotoperíodo, em diferentes sistemas de cultivo, é fundamental para compreender o comportamento de cada microverde à suplementação luminosa, com o objetivo de obter uma matéria-prima vegetal de alta produtividade e qualidade quanto aos compostos de interesse para a nutrição humana e à aparência.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A eficiência da suplementação luminosa em microverdes é dependente da intensidade luminosa, da qualidade da luz e das características genéticas de cada material;

A adição de luz pode, ou não, melhorar a qualidade nutricional e a produtividade de microverdes;

Os microverdes de coentro se beneficiam da suplementação luminosa principalmente devido ao maior acúmulo dos antioxidantes quercetina e ácido ascórbico. O conjunto com maior proporção de luz azul (LED2) gera plântulas de coentro mais nutritivas, uma vez que proporciona maiores concentrações de ácido ascórbico, Mg, Fe e Zn, e não diminui outros minerais importantes para a alimentação humana;

Microverdes de manjerição-roxo respondem positivamente à suplementação luminosa com o conjunto com menor proporção de luz azul (LED1), devido à maior síntese de antocianinas nas folhas cotiledonares e maiores teores de P, S, Fe e Zn, e maior teor de ácido ascórbico em relação ao controle;

A suplementação luminosa com o conjunto LED2 aumenta a produtividade e os teores de K, B, Cu, Fe, Mn e Zn de microverdes de manjerição-verde;

A adição de luz pelos conjuntos LED1 e LED2 não é eficiente para aumentar a qualidade nutricional e a produtividade de microverdes de repolho-roxo;

Dessa forma, este trabalho contribui para o conhecimento de aspectos fisiológicos e morfológicos de diferentes genótipos de microverdes, os quais ainda são escassos de informação, uma vez que associa dados de análises físico-químicas com dados de imagens multiespectrais em plântulas de alto valor nutricional, cultivadas em casa de vegetação com suplementação luminosa com diferentes qualidades de luz em ambiente com altas temperaturas e boa quantidade de luz, diferenciando-se dos demais trabalhos publicados até hoje. No entanto, ainda é necessário realizar estudos com outros genótipos de microverdes, composições espectrais e intensidades luminosas, além de se verificar a viabilidade econômica da técnica de suplementação luminosa no cultivo de microverdes.



## REFERÊNCIAS

- AGATI, G. et al. Flavonoid Distribution in Tissues of *Phillyrea latifolia* L. Leaves as Estimated by Microspectrofluorometry and Multispectral Fluorescence Microimaging. **Photochemistry and Photobiology**, v. 76, n. 3, p. 350, 2002.
- AMES, B. N.; SHIGENAGA, M. K.; HAGEN, T. M. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 90, n. 17, p. 7915–7922, 1993.
- ANDREJIOVÁ, A. et al. Content of Selected Bioactive Substances in Dependence on Lighting in Microgreens. **Acta Horticulturae et Regioecturae**, v. 20, n. 1, p. 6–10, 2017.
- ARAUJO, A. G. DE et al. Qualidade de luz na biometria e anatomia foliar de plântulas de *Cattleya loddigesii* L. (Orchidaceae) micropropagadas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2506–2511, 2009.
- BABOURINA, O.; NEWMAN, I.; SHABALA, S. Blue light-induced kinetics of H<sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup> fluxes in etiolated wild-type and phototropin-mutant *Arabidopsis* seedlings. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 99, n. 4, p. 2433–2438, 19 fev. 2002.
- BIAN, Z. H.; YANG, Q. C.; LIU, W. K. Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: A review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 5, p. 869–877, 2015.
- BOLOURI-MOGHADDAM, M. R. et al. Sugar signalling and antioxidant network connections in plant cells. **The FEBS journal**, v. 277, n. 9, p. 2022–2037, 2010.
- BOURGET, C. M. An introduction to light-emitting diodes. **HortScience**, v. 43, n. 7, p. 1944–1946, 1 dez. 2008.
- BRAZAITYTE, A. et al. The effects of LED illumination spectra and intensity on carotenoid content in Brassicaceae microgreens. **Food Chemistry**, v. 173, p. 600–606, 2015.
- BRAZAITYTE, A. et al. Light quality: Growth and nutritional value of microgreens under indoor and greenhouse conditions. **Acta Horticulturae**, v. 1134, p. 277–284, 2016.
- CHANDRA, D.; KIM, J. G.; KIM, Y. P. Changes in microbial population and quality of microgreens treated with different sanitizers and packaging films. **Horticulture Environment and Biotechnology**, v. 53, n. 1, p. 32–40, 2012.
- CHEN, W. et al. Effect of LED light source on the growth and quality of different lettuce varieties. **Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica**, v. 31, n. 7, p. 1434–1440, 2011.
- DEMMIG-ADAMS, B.; ADAMS, W. W. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. **Trends in Plant Science**, v. 1, n. 1, p. 21–26, 1 jan. 1996.
- DI GIOIA, F.; MININNI, C.; SANTAMARIA, P. How to grow microgreens. **Microgreens**, p. 51–79, 1 out. 2015.
- DORAIS, M. The use of supplemental lighting for vegetable crop production: Light intensity, crop response, nutrition, crop management, cultural practices. **Canadian Greenhouse Conference**, p. 1–8, 2003.
- DREWNOWSKI, A.; GOMEZ-CARNEROS, C. Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. **American Society for Clinical Nutrition**, v. 72, p. 1424–35, 2000.
- EBERT, A. W. **Sprouts, microgreens, and edible flowers: the potential for high value specialty produce in Asia**. SEAVEG2012 Regional Symposium: High Value Vegetables in Southeast Asia: Production, Supply and Demand. **Anais...Taiwan**: 2012
- FAN, X. X. et al. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. **Scientia Horticulturae**, v. 153, p. 50–55, 2013.

- FLESHMAN, M. K. et al. Carotene and novel apocarotenoid concentrations in orange-fleshed Cucumis melo melons: determinations of  $\beta$ -carotene bioaccessibility and bioavailability. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 59, n. 9, p. 4448–4454, 2011.
- FONTANA, L. et al. Physicochemical characterization and sensory evaluation of lettuce cultivated in three growing systems. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 20–26, mar. 2018.
- FURLANI, P. R. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia-NFT. 1998.
- GALLICCHIO, L. et al. Carotenoids and the risk of developing lung cancer: a systematic review. **The American journal of clinical nutrition**, v. 88, n. 2, p. 372–383, 2008.
- GAMON, J. A. et al. Assessing Vegetation Function with Imaging Spectroscopy. **Surveys in Geophysics**, v. 40, n. 3, p. 489–513, 1 maio 2019.
- GAMON, J. A.; SURFUS, J. S. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. **New Phytologist**, v. 143, n. 1, p. 105–117, jul. 1999.
- GARCÍA-MACÍAS, P. et al. Changes in the flavonoid and phenolic acid contents and antioxidant activity of red leaf lettuce (Lollo Rosso) due to cultivation under plastic films varying in ultraviolet transparency. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 55, n. 25, p. 10168–10172, 2007.
- GEROVAC, J. R. et al. Light Intensity and Quality from Sole-source Light-emitting Diodes Impact Growth, Morphology, and Nutrient Content of Brassica Microgreens. **HortScience**, v. 51, n. 5, p. 497–503, 2016.
- GILIBERTO, L. et al. Manipulation of the blue light photoreceptor cryptochrome 2 in tomato affects vegetative development, flowering time, and fruit antioxidant content. **Plant Physiology**, v. 137, n. 1, p. 199–208, 2005.
- GITELSON, A. A.; KEYDAN, G. P.; MERZLYAK, M. N. Three-band model for noninvasive estimation of chlorophyll, carotenoids, and anthocyanin contents in higher plant leaves. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 11, p. 1–5, 16 jun. 2006.
- GOULD, K. S. Nature's Swiss army knife: the diverse protective roles of anthocyanins in leaves. **BioMed Research International**, v. 2004, n. 5, p. 314–320, 2004.
- GRATÃO, P. L. et al. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. **Functional plant biology**, v. 32, n. 6, p. 481–494, 2005.
- HALSTED, J. A.; SMITH, J. C.; IRWIN, M. I. A conspectus of research on zinc requirements of man. **G.NUTR.**, v. 104, n. 3, p. 345–378, 1974.
- HARADA, A.; SHIMAZAKI, K. Phototropins and Blue Light-dependent Calcium Signaling in Higher Plants. **Photochemistry and Photobiology**, v. 83, n. 1, p. 102–111, 26 fev. 2007.
- HE, J. et al. Determination of total polysaccharides and total flavonoids in chrysanthemum morifolium using near-infrared hyperspectral imaging and multivariate analysis. **Molecules**, v. 23, n. 9, p. 1–13, 2018.
- HEUVELINK, E. et al. Horticultural lighting in the Netherlands: New developments. **Acta Horticulturae**, v. 711, p. 25–33, 2006.
- HISCOX, J. D.; ISRAELSTAM, G. F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, v. 57, n. 12, p. 1332–1334, 15 jun. 1979.
- HOVI, T.; NÄKKILÄ, J.; TAHVONEN, R. Interlighting improves production of year-round cucumber. **Scientia Horticulturae**, v. 102, n. 3, p. 283–294, 2004.
- ISLAM, M. A. et al. Artificial light from light emitting diodes (LEDs) with a high portion of blue light results in shorter poinsettias compared to high pressure sodium (HPS) lamps. **Scientia Horticulturae**, v. 147, p. 136–143, 2012.

- JONES-BAUMGARDT, C. et al. Intensity of sole-source light-emitting diodes affects growth, yield, and quality of brassicaceae microgreens. **HortScience**, v. 54, n. 7, p. 1168–1174, 2019.
- JONES-BAUMGARDT, C.; LLEWELLYN, D.; ZHENG, Y. 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**, v. 55, n. 2, p. 156–163, 2020.
- KOPSELL, D. A. et al. Shoot tissue pigment levels increase in “Florida Broadleaf” mustard (*Brassica juncea* L.) microgreens following high light treatment. **Scientia Horticulturae**, v. 140, p. 96–99, 1 jun. 2012.
- KOPSELL, D. A. et al. Sprouting broccoli accumulate higher concentrations of nutritionally important metabolites under narrow-band light-emitting diode lighting. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 139, n. 4, p. 469–477, 2014.
- KOPSELL, D. A.; LEFSRUD, M. G.; KOPSELL, D. E. **Pre-harvest cultural growing conditions can influence carotenoid phytochemical concentrations in vegetable crops.** II International Symposium on Human Health Effects of Fruits and Vegetables: FAVHEALTH 2007 841. **Anais...**2007
- KOPSELL, D. A.; SAMS, C. E. Increases in Shoot Tissue Pigments, Glucosinolates, and Mineral Elements in Sprouting Broccoli after Exposure to Short-duration Blue Light from Light Emitting Diodes. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 138, n. 1, p. 31–37, 2013.
- KOPSELL, D. A.; SAMS, C. E.; MORROW, R. C. Blue wavelengths from led lighting increase nutritionally important metabolites in specialty crops. **HortScience**, v. 50, n. 9, p. 1285–1288, 2015.
- KOU, L. et al. Postharvest biology, quality and shelf life of buckwheat microgreens. **LWT - Food Science and Technology**, v. 51, n. 1, p. 73–78, 2013.
- KYRIACOU, M. C. et al. Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. **Trends in Food Science and Technology**, v. 57, p. 103–115, 2016.
- KYRIACOU, M. C. et al. Functional quality in novel food sources: Genotypic variation in the nutritive and phytochemical composition of thirteen microgreens species. **Food Chemistry**, v. 277, p. 107–118, mar. 2019.
- LANDRUM, J. T.; BONE, R. A. Lutein, zeaxanthin, and the macular pigment. **Archives of biochemistry and biophysics**, v. 385, n. 1, p. 28–40, 2001.
- LEES, D. H. ; FRANCIS, F. J. Standardization of pigment analysis in Cranberries. **Hortscience**, v. 7, p. 83–84, 1972.
- LEFSRUD, M. G.; KOPSELL, D. A.; SAMS, C. E. Irradiance from distinct wavelength light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale. **HortScience**, v. 43, n. 7, p. 2243–2244, 2008.
- LESTER, G. E.; HALLMAN, G. J.; PÉREZ, J. A.  $\gamma$ -Irradiation dose: Effects on baby-leaf spinach ascorbic acid, carotenoids, folate,  $\alpha$ -tocopherol, and phyloquinone concentrations. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 8, p. 4901–4906, 2010.
- LI, J.; HIKOSAKA, S.; GOTO, E. **Effects of light quality and photosynthetic photon flux on growth and carotenoid pigments in spinach (*Spinacia oleracea* L.).** VI International Symposium on Light in Horticulture 907. **Anais...**2009
- LI, Q.; KUBOTA, C. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, n. 1, p. 59–64, 1 nov. 2009.
- LUTHRIA, D. L.; MUKHOPADHYAY, S.; KRIZEK, D. T. Content of total phenolics and phenolic acids in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation. **Journal of food composition and analysis**, v. 19, n. 8, p. 771–777, 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. C.; OLIVEIRA, S. A. DE. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997.
- MASSA, G. D. et al. Plant productivity in response to LED lighting. **HortScience**, v. 43, n. 7, p. 1951–1956, 2008.

- MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 345, p. 659–668, 1 abr. 2000.
- MEYERS, K. J. et al. Genetic determinants of macular pigments in women of the Carotenoids in Age-Related Eye Disease Study. **Investigative ophthalmology & visual science**, v. 54, n. 3, p. 2333–2345, 2013.
- MITCHELL, C. et al. LEDs: The Future of Greenhouse Lighting! **Chronica Horticulturae**, v. 52, n. 1, p. 1–9, 2012.
- MIZUNO, T.; AMAKI, W.; WATANABE, H. **Effects of monochromatic light irradiation by LED on the growth and anthocyanin contents in leaves of cabbage seedlings**. VI International Symposium on Light in Horticulture 907. **Anais...**2009
- MORROW, R. C. LED lighting in horticulture. **HortScience**, v. 43, n. 7, p. 1947–1950, 2008.
- MUNERA, S. et al. Non-destructive assessment of the internal quality of intact persimmon using colour and VIS/NIR hyperspectral imaging. **LWT**, v. 77, p. 241–248, abr. 2017.
- NOGALES-BUENO, J. et al. Use of near infrared hyperspectral tools for the screening of extractable polyphenols in red grape skins. **Food Chemistry**, v. 172, p. 559–564, 2015.
- OH, M.; CAREY, E. E.; RAJASHEKAR, C. B. Regulated Water Deficits Improve Phytochemical Concentration in Lettuce. **Journal of american society of horticultural science**, v. 135, n. 3, p. 223–229, 2010.
- OHASHI-KANEKO, K. et al. Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. **Environmental Control in Biology**, v. 45, n. 3, p. 189–198, 2007.
- OLESEN, M. H.; VAN DUJIN, B.; BOELT, B. Introduction of new methods: spectral imaging. **Seed Testing International**, n. 147, p. 10–13, 2014.
- PASTERNAK, T. et al. Complementary interactions between oxidative stress and auxins control plant growth responses at plant, organ, and cellular level. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 418, p. 1991–2001, 2005.
- PENNISI, G. et al. Unraveling the Role of Red:Blue LED Lights on Resource Use Efficiency and Nutritional Properties of Indoor Grown Sweet Basil. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. March, p. 1–14, 2019.
- PINTO, E. et al. Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 37, p. 38–43, 2015.
- QIAN, H. et al. Effects of light quality on main health-promoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale sprouts. **Food Chemistry**, v. 196, p. 1232–1238, 2016.
- RADIN, B. et al. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1017–1023, 2003.
- SAMUOLIENĖ, G. et al. **Effect of supplementary pre-harvest LED lighting on the antioxidant and nutritional properties of green vegetables**. XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 939. **Anais...**2010
- SAMUOLIENĖ, G. et al. The Impact of supplementary short-term red LED lighting on the antioxidant properties of microgreens. **Acta Horticulturae**, v. 956, p. 649–655, 2012a.
- SAMUOLIENĖ, G. et al. LED lighting and seasonality effects antioxidant properties of baby leaf lettuce. **Food Chemistry**, v. 134, n. 3, p. 1494–1499, 2012b.
- SAMUOLIENĖ, G. et al. LED irradiance level affects growth and nutritional quality of Brassica microgreens. **Central European Journal of Biology**, v. 8, n. 12, p. 1241–1249, 2013.
- SAMUOLIENĖ, G. et al. Red light-dose or wavelength-dependent photoresponse of antioxidants in herb microgreens. **PLoS ONE**, v. 11, n. 9, p. 1–10, 2016.



- SCHREINER, M. et al. UV-B-induced secondary plant metabolites-potential benefits for plant and human health. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 31, n. 3, p. 229–240, 2012.
- SCHUERGER, A. C.; BROWN, C. S.; STRYJEWSKI, E. C. Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) Grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. **Annals of Botany**, v. 79, n. 3, p. 273–282, 1997.
- SHIBUYA, T. et al. Growth analysis and photosynthesis measurements of cucumber seedlings grown under light with different red to far-red ratios. **HortScience**, v. 51, n. 7, p. 843–846, 2016.
- SHIN, H. S. et al. Anti-inflammatory effect of chlorogenic acid on the IL-8 production in Caco-2 cells and the dextran sulphate sodium-induced colitis symptoms in C57BL/6 mice. **Food chemistry**, v. 168, p. 167–175, 2015.
- SOLOVCHENKO, A.; SCHMITZ-EIBERGER, M. Significance of skin flavonoids for UV-B-protection in apple fruits. **Journal of experimental botany**, v. 54, n. 389, p. 1977–1984, 2003.
- SUN, J. et al. Profiling polyphenols in five brassica species microgreens by UHPLC-PDA-ESI/HRMSn. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 46, p. 10960–10970, 2013.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Metabólitos secundários e defesa vegetal. In: **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013a. p. 370–400.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fotossíntese: Reações de Carboxilação. In: **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013b. p. 199–242.
- TOLEDO, M. E. A. et al. L-ascorbic acid metabolism in spinach (*Spinacia oleracea* L.) during postharvest storage in light and dark. **Postharvest biology and technology**, v. 28, n. 1, p. 47–57, 2003.
- TREADWELL, D. D. et al. Microgreens: A New Specialty Crop. **University of Florida IFAS Extension**, n. July, p. 1–3, 2010.
- VAN DEN ENDE, W.; VALLURU, R. Sucrose, sucrosyl oligosaccharides, and oxidative stress: scavenging and salvaging? **Journal of experimental botany**, v. 60, n. 1, p. 9–18, 2009.
- VAŠTAKAITĖ, V. et al. The Effect of Blue Light Dosage on Growth and Antioxidant Properties of Microgreens. **SODININKYSTĖ IR DARŽININKYSTĖ**, v. 34, p. 25–36, 2015.
- WELLBURN, A. R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, n. 3, p. 307–313, 1994.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. **World Health Organization technical report series**, v. 916, p. 149, 2003.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global prevalence of vitamin A deficiency in populations at risk 1995–2005. **WHO global database on vitamin A deficiency**, p. 55, 2009.
- WU, M.-C. et al. A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. **Food Chemistry**, v. 101, n. 4, p. 1753–1758, 2007.
- XIAO, Z. et al. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: Edible microgreens. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 31, p. 7644–7651, 2012.
- XIAO, Z. et al. Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens. **Postharvest Biology and Technology**, v. 110, p. 140–148, 2015.
- XIAO, Z. et al. Microgreens of Brassicaceae: Mineral composition and content of 30 varieties. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 49, p. 87–93, 2016.

XIAOBO, Z. et al. Independent component analysis in information extraction from visible/near-infrared hyperspectral imaging data of cucumber leaves. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 104, n. 2, p. 265–270, 2010.

XUE, L.; YANG, L. Deriving leaf chlorophyll content of green-leafy vegetables from hyperspectral reflectance. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, n. 1, p. 97–106, 1 jan. 2009.

YEH, N.; CHUNG, J. P. High-brightness LEDs-Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 8, p. 2175–2180, 2009.

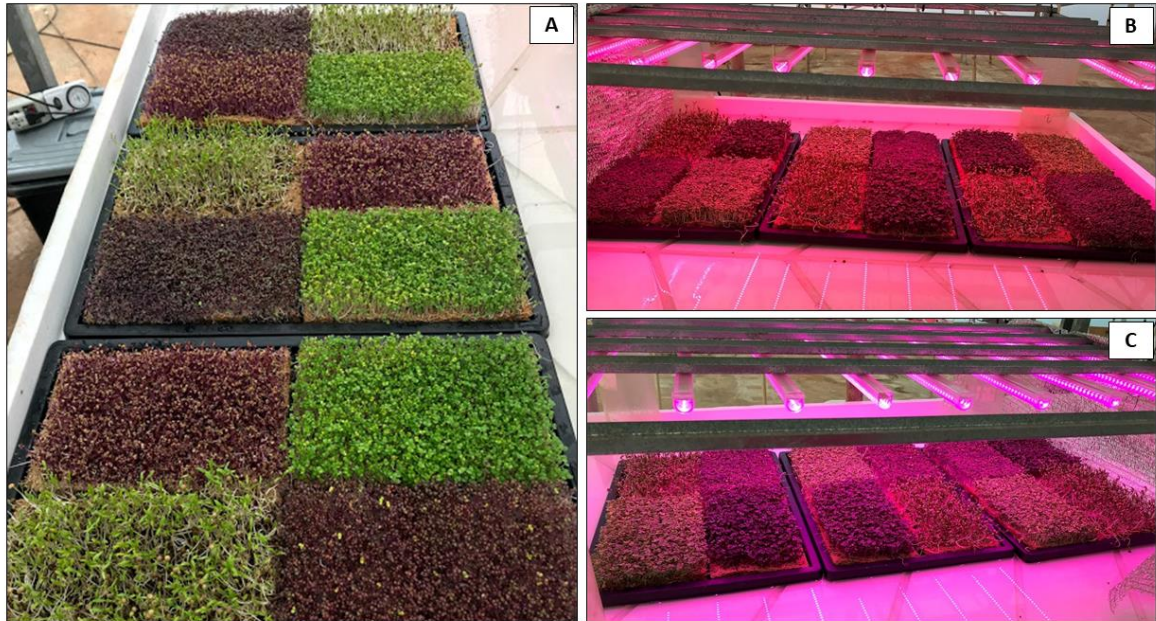
YING, Q. et al. Responses of yield and appearance quality of four Brassicaceae microgreens to varied blue light proportion in red and blue light-emitting diodes lighting. **Scientia Horticulturae**, v. 259, p. 1–8, 3 jan. 2020.

ZHANG, T.-J. et al. A magic red coat on the surface of young leaves: anthocyanins distributed in trichome layer protect *Castanopsis fissa* leaves from photoinhibition. **Tree Physiology**, v. 36, n. 10, p. 1296–1306, 1 out. 2016.

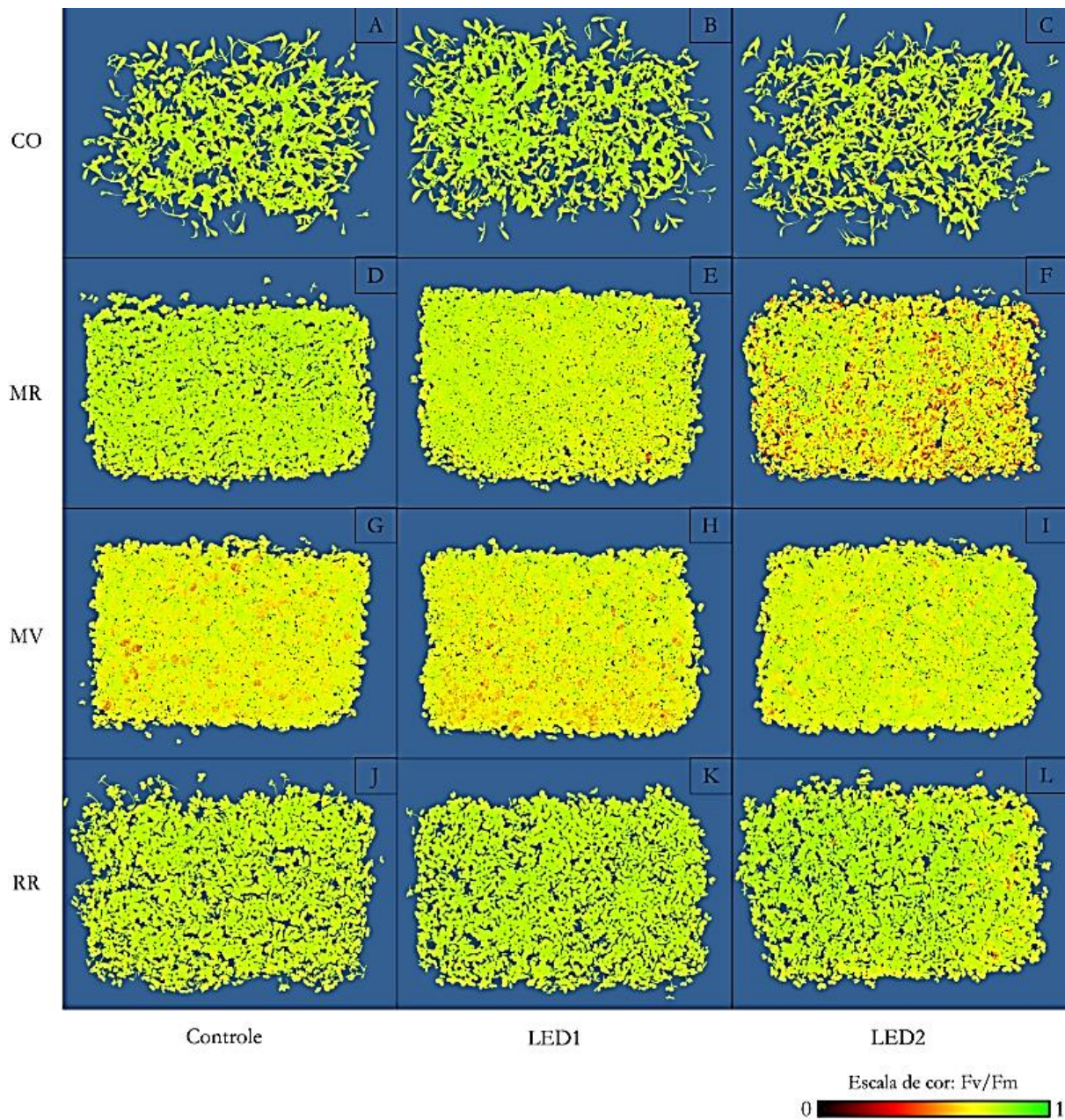
ZHAO, X. et al. Phototropins function in high-intensity blue light-induced hypocotyl phototropism in arabidopsis by altering cytosolic calcium. **Plant Physiology**, v. 162, n. 3, p. 1539–1551, jul. 2013.

ZIVCAK, M. et al. Lettuce flavonoids screening and phenotyping by chlorophyll fluorescence excitation ratio. **Planta**, v. 245, n. 6, p. 1215–1229, 1 jun. 2017.

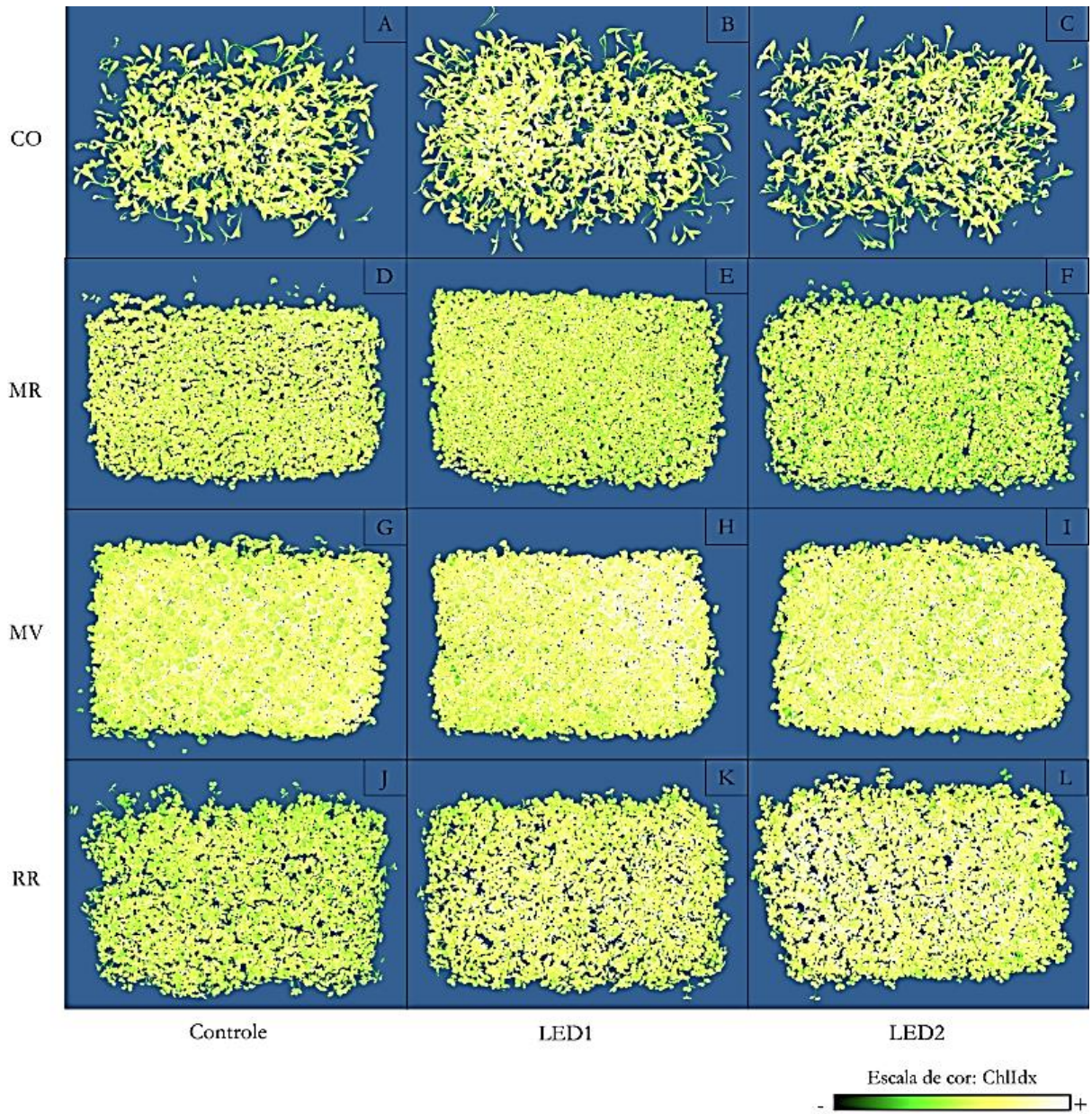
## APÊNDICES



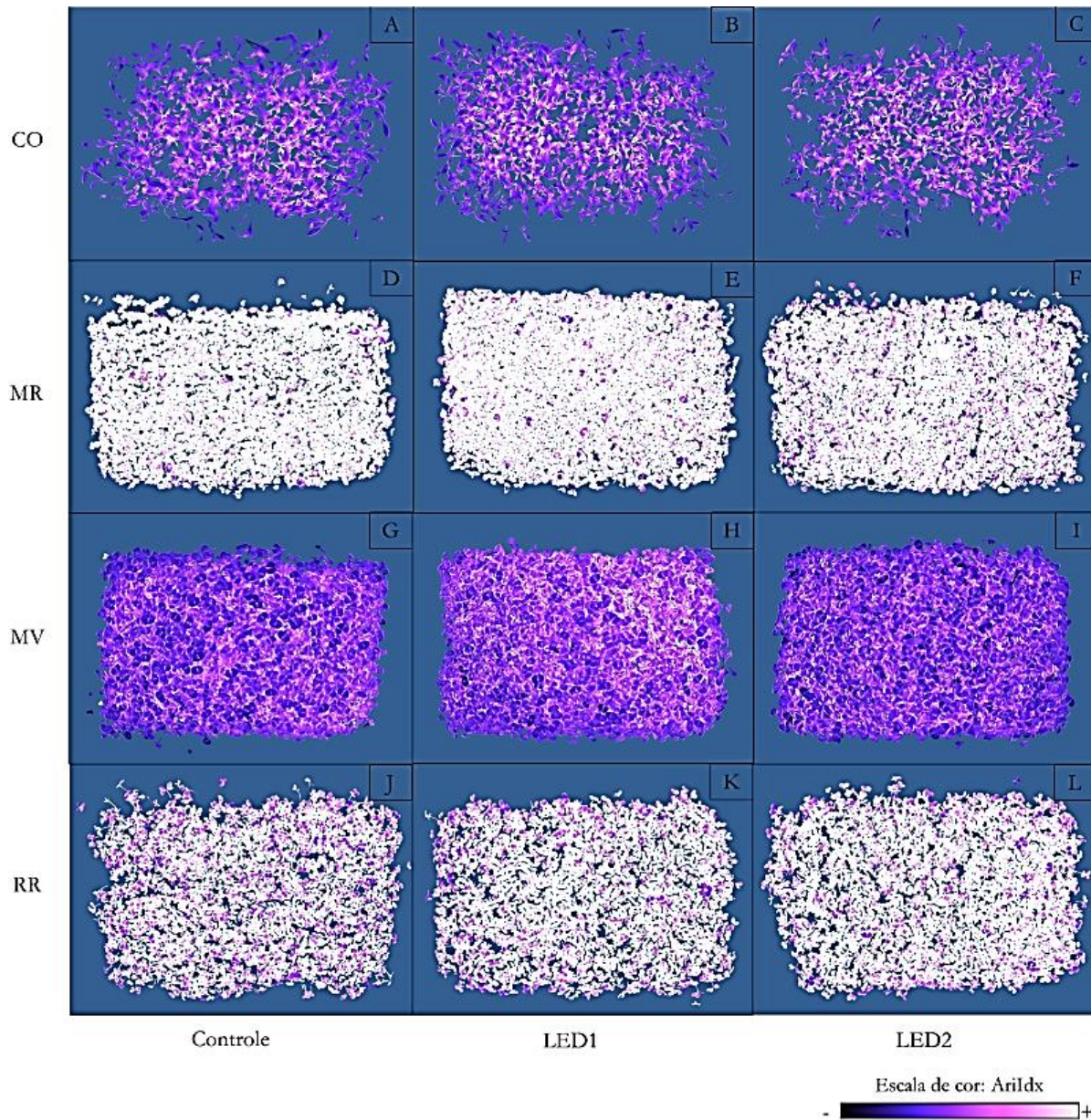
**APÊNDICE A.** Ambientes dos grupos de experimento em blocos casualizados, com três ambientes com iluminações distintas: controle (A), LED1 com 12,5% azul + 87,5% vermelho (B), LED2 com 25% azul + 75% vermelho (C); 4 cultivares de microverdes (coentro, manjeriçao-roxo, manjeriçao-verde e repolho-roxo) e 3 blocos.



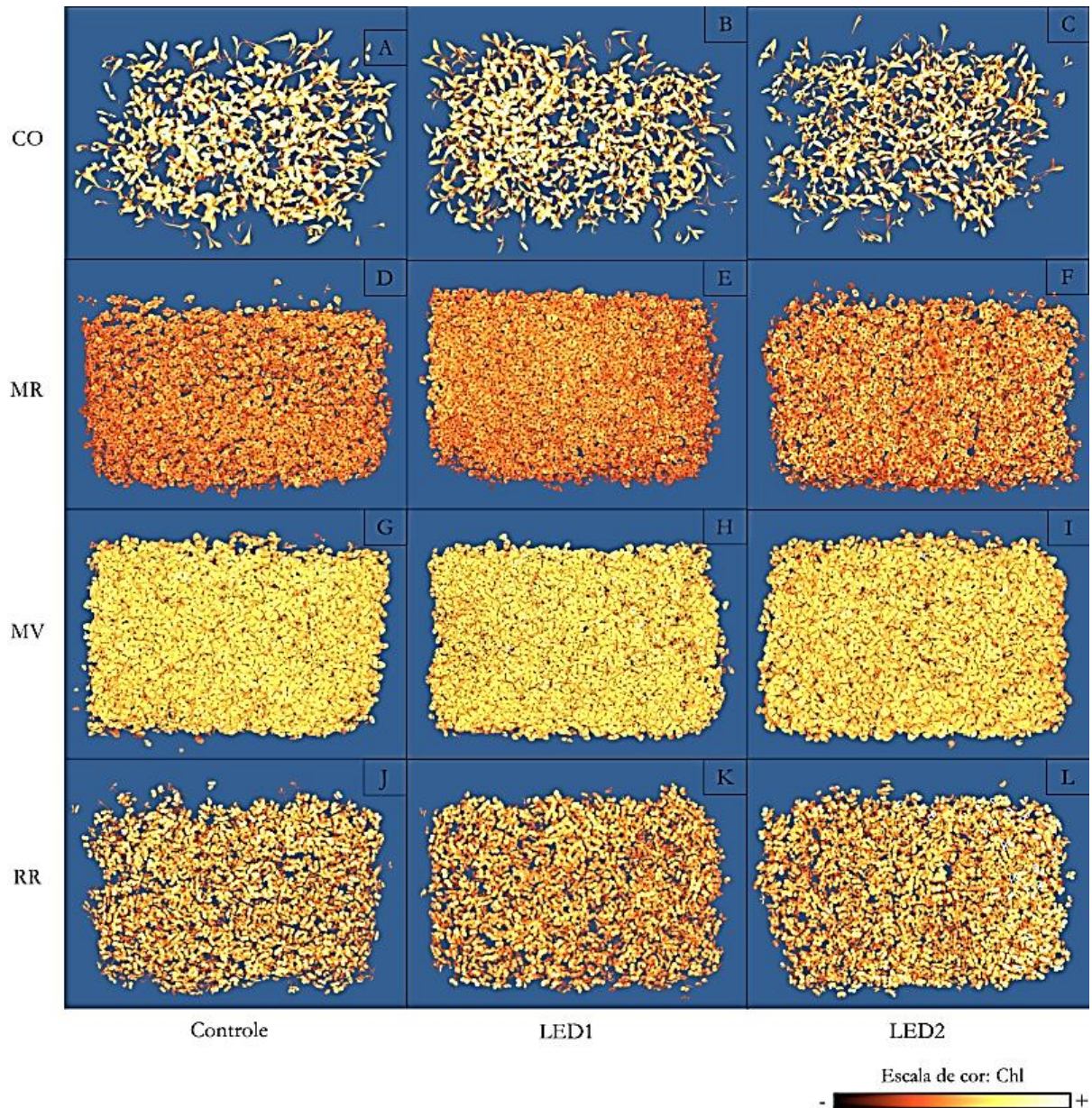
**APÊNDICE B.** Eficiência fotossintética (Fv/Fm) obtida a partir de imagens multiespectrais de microverdes de coentro (CO, A-C), manjeriçao-roxo (MR, D-F), manjeriçao-verde (MV, G-I) e repolho-roxo (RR, J-L) cultivados em ambientes sem suplementação luminosa (controle) e com suplementação luminosa com dois conjuntos diferentes de barras de LED (LED1 com 12,5 % azul + 87,5 % vermelho e LED2 com 25 % azul + 75 % vermelho).



**APÊNDICE C.** Índice de clorofilas (ChlIdx) obtido a partir de imagens multiespectrais de microverdes de coentro (CO, A-C), manjeriçao-roxo (MR, D-F), manjeriçao-verde (MV, G-I) e repolho-roxo (RR, J-L) cultivados em ambientes sem suplementação luminosa (controle) e com suplementação luminosa com dois conjuntos diferentes de barras de LED (LED1 com 12,5 % azul + 87,5 % vermelho e LED2 com 25 % azul + 75 % vermelho).



**APÊNDICE D.** Índice de antocianinas (ChlIdx) obtido a partir de imagens multiespectrais de microverdes de coentro (CO, A-C), manjeriçom-roxo (MR, D-F), manjeriçom-verde (MV, G-I) e repolho-roxo (RR, J-L) cultivados em ambientes sem suplementação luminosa (controle) e com suplementação luminosa com dois conjuntos diferentes de barras de LED (LED1 com 12,5 % azul + 87,5 % vermelho e LED2 com 25 % azul + 75 % vermelho).



**APÊNDICE E.** Fluorescência de clorofilas (Chl<sub>710</sub>) obtido a partir de imagens multiespectrais de microverdes de coentro (CO, A-C), manjeriçao-roxo (MR, D-F), manjeriçao-verde (MV, G-I) e repolho-roxo (RR, J-L) cultivados em ambientes sem suplementação luminosa (controle) e com suplementação luminosa com dois conjuntos diferentes de barras de LED (LED1 com 12,5 % azul + 87,5 % vermelho e LED2 com 25 % azul + 75 % vermelho).