



ANA LUIZA REALE

**ESPECTROS DE LUZ E SEUS EFEITOS NA GERMINAÇÃO
DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE
PLÂNTULAS DE ALFACE**

**LAVRAS - MG
2021**

ANA LUIZA REALE

**ESPECTROS DE LUZ E SEUS EFEITOS NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES E
CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE ALFACE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos
Orientadora

Profa. Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2021**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Reale, Ana Luiza.

Espectros de luz e seus efeitos na germinação de sementes e
crescimento de plântulas de alface / Ana Luiza Reale. - 2021.
49 p. : il.

Orientador(a): Heloisa Oliveira dos Santos.

Coorientador(a): Raquel Maria de Oliveira Pires.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Luz LED. 2. *Lactuca sativa*. 3. Espécies Reativas de
Oxigênio. I. dos Santos, Heloisa Oliveira. II. Pires, Raquel Maria de
Oliveira. III. Título.

ANA LUIZA REALE

**ESPECTROS DE LUZ E SEUS EFEITOS NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES E
CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE ALFACE**

**LIGHT SPECTRUMS AND THEIR EFFECTS ON SEED GERMINATION AND
SEEDLING GROWTH OF LETTUCE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 23 de agosto de 2021.

Dra. Patricia de Oliveira Alvim Veiga	IF Sul de MG – Campus Machado
Dr. Everson Reis Carvalho	UFLA
Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires	UFLA

Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos
Orientadora

**LAVRAS-MG
2021**

A minha família, a mim e a Deus.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus pela proteção.

A todos os meus colegas do Laboratório de Sementes da UFLA, em especial aos meus amigos Giovani Tirelli e Giovana Frota, por todo apoio, amizade e companheirismo. Minha admiração por vocês cresce a cada dia. Obrigada por terem feito parte desse importante capítulo da minha vida.

Às minhas amigas do setor de sementes Danielle, Edlânia, Juara, Elise, Tamires, Débora e Amanda, por terem compartilhado comigo conhecimentos, bons momentos, pela amizade e por toda a ajuda que me deram nesse trabalho.

À minha família pelo apoio, suporte e amor. Por me incentivarem a dar o meu melhor todos os dias. À minha mãe Emília e meu pai Armando, por me indicarem que o caminho do conhecimento e do estudo abrem portas para o futuro.

À minha coorientadora e amiga Profa. Dra. Raquel Pires, por ser uma pessoa incrível, exemplo de profissional, dedicada, empenhada, inteligente e única.

A todos os professores e colaboradores do setor de sementes, Prof. Dr. Everson, Profa. Dra. Édila e pesquisadora Dra. Sttela, pelos ensinamentos passados dentro e fora da sala de aula. Aos técnicos do laboratório de sementes pelo apoio, funcionários da UFLA, à administração e secretaria do DAG.

Aos amigos do NESem, grupo que tenho orgulho de ter participado por 6 anos, pelas reuniões, confraternizações, eventos, projetos e por contribuírem com a minha formação.

Agradecimento especial à Profa. Dra. Heloisa Oliveira por ter me guiado e orientado no mestrado. Pelo apoio, suporte, pela compreensão durante os períodos críticos que passamos, por zelar pela nossa segurança e saúde e por acreditar no meu potencial.

Aos membros da banca Profa. Dra. Patricia de Oliveira Alvim Veiga, Prof. Dr. Everson Reis Carvalho e Profa. Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires, pelas contribuições.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade concedida para realização do mestrado. Por fim, à Universidade Federal de Lavras, lugar onde me tornei Agrônoma e Mestre, com muito orgulho.

MUITO OBRIGADA.

RESUMO

A produção de hortaliças no Brasil é um mercado em constante desenvolvimento, com destaque para a alface, hortaliça folhosa de maior consumo no mundo. Aliado a isso, novas tecnológicas ganham espaço no sistema de produção, com destaque para o crescimento em ambiente coberto e com iluminação controlada. A luz LED (*light emitting diode*) apresenta vantagens no crescimento de plantas, como: menor emissão de calor, durabilidade e controle espectral, permitindo que os comprimentos de onda sejam adaptados aos fotorreceptores dos vegetais. Os fotorreceptores das plantas (clorofila *a* e *b*) absorvem os comprimentos de onda na faixa do vermelho (650-675 nm) e azul (440 nm), fator importante para espécies cuja germinação é considerada fotoblástica positiva, como a alface, pois essa hortaliça necessita de luz para ativar o mecanismo responsável pela protrusão radicular. A proteína responsável pela fotorreação, que controla a germinação chama-se fitocromo, e este na forma ativa atinge concentrações suficientes que iniciam o processo da germinação através da síntese de hormônios, principalmente a giberelina. Assim, diversas pesquisas estudaram a influência das luzes com espectro de luz controlado para avaliar o crescimento de plantas, mas estudos da influência do uso contínuo de luz LED na germinação e desenvolvimento inicial de plântulas são mais escassos. A utilização de luz artificial em quantidades inadequadas produz um fenômeno chamado de estresse foto-oxidativo, causado pelo fornecimento de fótons de luz superior à capacidade de absorção dos aparatos fotossintéticos dos vegetais. Uma das formas de mensurar esse dano é através da observação do comportamento de enzimas pertencentes ao sistema antioxidante das plantas, como a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT), a peroxidase (POX) e ascorbato peroxidase (APX), com o objetivo de adequar a quantidade de luz fornecida e os comprimentos de onda adequados a fim de maximizar o crescimento vegetal e minimizar os danos por estresse foto-oxidativo nas células vegetais. Desta forma, pesquisas que visam estudar o efeito da luz na germinação e desenvolvimento de plântulas em culturas de importância comercial como a alface se fazem necessários.

Palavras-chave: Luz LED. *Lactuca sativa*. Espécies Reativas de Oxigênio.

ABSTRACT

The vegetable production Brazil's market is in constant development, and lettuce highlights as the most consumed leafy vegetable worldwide. Simultaneously, new technologies have arisen as interesting alternatives for application into production systems, including plant growth under covered environments and with controlled light conditions. Light-emitting diodes (LEDs) have shown increasingly promising for plant growth based mainly on their properties of lower heat emission, durability, and spectral control, which allows the adjustment of wavelengths to plant photoreceptors. Plant photoreceptors (chlorophyll a and b) absorb wavelengths in red (650-675 nm) and blue (440 nm) light ranges, a crucial factor for species whose germination is called positive photoblastic such as lettuce, as it needs light to trigger mechanisms of root protrusion. Phytochrome is the protein that controls germination through the photoreaction process, and after acquiring its active form, it reaches sufficient concentrations to initiate the germination process by stimulating the synthesis of phytohormones, especially the gibberellin. Several studies have assessed the influence of controlled light spectrum for enhancing plant growth, but research about the impacts of using LED light continuously on germination and early development of seedlings is still scarce. The exposure of plants to artificial light for inappropriate periods may induce a phenomenon known as photooxidative stress, usually caused by an excess of photons superior to the absorption capacity of plant photosynthetic apparatus. A feasible approach for measuring this damage is through checking the behavior of enzymes belonging to the plant antioxidant system, such as superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POX), and ascorbate peroxidation (APX). Thereby, upon the enzymatic activity comprehension, adaptations at the light supply and adjustments in wavelengths could maximize plant growth and reduce photooxidative stress damages on plant cells. Thus, scientific research that aims to study the effect of light on germination and seedling development for commercially crops like lettuce is increasingly required.

Keywords: LED Light. *Latuca sativa*. Reactive Oxygen Species.

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	9
1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	A cultura da alface.....	11
2.2	Luz LED na agricultura.....	12
2.3	Importância da luz para a germinação e desenvolvimento de plântulas	14
2.4	Luz e o sistema antioxidante das plantas	18
	REFERÊNCIAS	21
	CAPÍTULO 2 ESPECTROS LUMINOSOS E SUA INFLUÊNCIA NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES E DESENVOLVIMENTO DE PLÂNTULAS DE ALFACE CV. VERÔNICA.	27
1	INTRODUÇÃO	29
2	MATERIAL E MÉTODOS	30
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4	CONCLUSÕES.....	45
	REFERÊNCIAS	46

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

A produção de hortaliças no país é uma das maiores fontes de renda do setor agrícola. Além disso, as hortaliças são alimentos fundamentais na dieta humana, tanto pelos benefícios à saúde, como pelo sabor, riqueza de nutrientes e sua utilização em diversos pratos da culinária.

O mercado tem se tornado cada vez mais exigente quanto à qualidade de alimentos e assim, a agricultura tem como desafio imediato fornecer alimentos com mais rapidez, qualidade e utilizando sistemas de produção mais sustentáveis. Conseqüentemente, há uma grande demanda para a produção de matrizes que forneçam plantas mais vigorosas e saudáveis.

A produção de mudas de hortaliças no Brasil enfrenta grandes entraves quando se pensa em tempo de formação e aclimatação de mudas. Esse processo é foco de estudos visando principalmente controlar o ambiente, para que se tenha independência de fatores como luz solar, chuva, calor e umidade. O crescimento de plantas sob ambiente de iluminação controlada permite, dentre outras vantagens, produzir hortaliças durante o ano todo e em qualquer região do país.

Uma das inovações no crescimento de plantas é a utilização de luzes artificiais do tipo LED (*light emitting diode*). Os primeiros ensaios com LED utilizaram a radiança no vermelho e foram testados para o crescimento de alface, batata, espinafre e trigo (BULA *et al.*, 1991). Até dez anos atrás, devido ao alto custo do LED, o uso estava restrito a pesquisas em câmaras de crescimento e casas de vegetação.

Dentre as vantagens do seu uso, destaca-se: o LED não emite calor pelo feixe luminoso, apresenta controle eficiente do espectro emitido, permitindo combinações de espectros, menor consumo de energia elétrica, uso de baixa voltagem, pode ser instalada perto das plantas, vida útil longa e alta conversão de energia em luz (BOURGET, 2008).

O uso desse sistema tem se mostrado eficiente na Holanda, no crescimento de flores em câmaras. Shimizu *et al.* (2005) pesquisaram o uso de LEDs em crisântemos e concluíram que é possível inibir o alongamento dos entrenós, reduzindo a aplicação de produtos químicos para retardar o crescimento da flor. É comum também a utilização em laboratórios de cultura de tecidos e em casas de vegetação, mas pouco se conhece sobre o uso de LEDs na germinação de sementes e seus efeitos sobre o desenvolvimento inicial de plântulas.

Certamente, a utilização de LED na agricultura é promissora, e uma vez que o preço dos componentes abaixarem, o LED vai representar muitos nichos da cadeia produtiva de hortícolas

em nível global, sendo considerada como uma tecnologia que possui elevadas chances de expansão rápida (MASSA *et al.*, 2008). Mesmo o alto custo sendo considerado um entrave, esse é um problema inicial para todas as tecnologias em desenvolvimento. Espera-se que com a demanda e com pesquisas desenvolvidas na área, ela se torne viável em poucos anos.

Como uma possível tendência na horticultura, é importante que se consolidem estudos a respeito da utilização de luzes coloridas, havendo alternância de espectros ou não, sendo também necessário que se identifique o melhor intervalo de tempo para cada espécie. Os estudos recentes envolvendo a utilização do LED na horticultura estão em sua maioria concentrados na utilização em plântulas e mudas já desenvolvidas, porém poucas pesquisas recentes mencionam a influência das luzes LED coloridas na germinação de sementes e emergência de plântulas. A utilização de luzes LED coloridas são alvo de estudos principalmente na fisiologia das plantas sob estas condições. No entanto, faz-se necessário entender também a influência da utilização dessas luzes sob o sistema antioxidante das plantas, indicando se há ou não estresse sob esse tipo de ambiente de cultivo.

Portanto, é fundamental investigar a influência da utilização de lâmpadas de LED na faixa do vermelho curto e azul em câmaras de crescimento controlado como promotora da germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de alface e seus efeitos sob o sistema antioxidante de combate às espécies reativas de oxigênio das plântulas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) é originária do mediterrâneo, sendo uma das hortaliças folhosas mais relevantes e mais consumidas no mundo (SALA; COSTA, 2012). Pertence à família das Asteraceas, sendo uma planta anual, herbácea, com crescimento tipo roseta, podendo ter as folhas lisas ou crespas, de coloração verde ou roxa, com ou sem formação de cabeça. Até os anos 80, o padrão de consumo dessa hortaliça no Brasil era do tipo lisa (White Boston, manteiga). Porém, esse foi substituído pelo tipo crespa, derivadas da variedade Grand Rapids, e representa atualmente 50% do mercado brasileiro (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2014).

Por não ser uma espécie nativa, foram necessárias a introdução e o desenvolvimento genético de cultivares adaptadas ao clima tropical do Brasil (SALA; COSTA, 2005). Hoje, após a introdução e melhoramento genético, as cultivares mais plantadas no Brasil foram agrupadas quanto as características morfológicas (textura, tamanho, maciez e cor) sendo elas: lisa, crespa, americana, mimosa e romana (SUINAGA; HENZ, 2009).

Atualmente, a alface é cultivada de norte a sul do país, sendo a folhosa mais consumida *in natura* na forma de salada, tanto pelo preço quanto pelo sabor (RESENDE *et al.*, 2007). Porém, algumas cultivares de alface são preferencialmente cultivadas em regiões de clima ameno (15°C e 24°C). Durante o verão, devido às altas temperaturas (alta radiação incidente) e chuvas frequentes, o pendoamento precoce pode ocorrer, isso causa acúmulo de látex nas folhas (FILGUEIRA, 2013), prejudicando o sabor.

A safra de verão 2019/2020 teve as vendas e a produção comprometidas pelo fechamento dos estabelecimentos a partir de março de 2021, devido à pandemia do Coronavírus. As microrregiões mais produtoras, de acordo com dados de oferta da alface no CEASA (Centrais de Abastecimento) em janeiro de 2021 são: Piedade - SP (3.865.451 kg), Ibiapaba - CE (600.320), Itaperecica da Serra - SP (558.610), Serrana - RJ (265.452) e Mogi das Cruzes - SP (224.356) (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2021).

Em condições convencionais de campo, a alface pode ser cultivada em canteiros com/sem a cobertura *mulching* ou com resíduos vegetais secos, melhorando a qualidade final do produto ao evitar o contato direto das folhas com o solo (HENZ; SUINAGA, 2009). Em campo, o cultivo corre no espaçamento de 0,2 x 0,3 m, é possível obter produtividade variando

de 80.000 a 120.000 plantas por hectare em campo. O ponto ideal de colheita é quando a “cabeça” atingir o seu máximo desenvolvimento, ou seja, com as folhas ainda tenras e sem indícios de pendão floral. Em geral, varia de 40 a 70 dias após a sementeira (FILGUEIRA, 2013). Em ambientes protegidos, destacam-se o cultivo em casas de vegetação, com telados, sombrites, túneis baixos com plástico ou com sistema de hidroponia, e varia de acordo com a condição climática da região e aptidão do produtor (HENZ; SUINAGA, 2009).

A utilização de mudas de alface representa quase a totalidade da cadeia produtiva dessa hortaliça, sendo que suas sementes são comercializadas tanto nuas como peletizadas (FILGUEIRA, 2013). Sementes de alface tem preço elevado, muitas vezes pela grande utilização de híbridos, aliado a tecnologias de recobrimento (encrustamento e peletização) e tratamento de sementes.

Em relação à produção de sementes, por ser uma espécie tipicamente de regiões de clima ameno, altas temperaturas favorecem o pendoamento, por encurtarem o ciclo da cultura (SILVA; REBELO; MÜLLER, 1995). Portanto, a janela produtiva para o cultivo de alface com a finalidade de produção de sementes deve ser realizada nos meses mais quentes do ano. O mercado de sementes hoje é composto por híbridos e variedades OP (*open polination*), porém, a produção de híbridos é onerosa devido à demanda de mão-de-obra durante a polinização.

A germinação de sementes de alface das cultivares mais populares é inibida em altas temperaturas (REYNOLDS; THOMPSON, 1971). A literatura aponta que diversos processos fisiológicos como a germinação, inibição do crescimento do hipocótilo, diferenciação dos cloroplastos e expressão de genes relacionados ao sistema fotorreceptor são estimulados pela presença de luz (BERTRAM; LERCARI, 1997; MUSTILLI; BOWLER, 1997), e indicam que a grande maioria das variedades de alface são fotoblásticas positivas, ou seja, necessitam de luz para germinar (AN; ZHOU, 2017).

2.2 Luz LED na agricultura

A primeira menção ao uso de luz artificial para crescimento de plantas foi dita por Carl Wilhelm Siemens, um ano após a invenção da luz incandescente por Thomas Edson há 140 anos, onde disse “O horticultor terá meios de se tornar profissionalmente independente da luz solar para produzir uma fruta de alta qualidade em todas as estações do ano”. A partir da década de 20, o uso na agricultura foi se tornando mais comum.

Na agricultura, as fontes de radiação mais comuns são as lâmpadas fluorescentes, iodetos metálicos, vapor de sódio (HPS) e incandescentes. Porém, essas fontes foram

desenvolvidas para iluminação em ambientes humanos, não sendo ideais para a agricultura, tendo diversas restrições principalmente nos espectros emitidos.

O uso de LED (diodo emissor de luz) especialmente na horticultura, é bastante aplicado a pesquisas científicas, em câmaras de crescimento e cultura de tecidos, devido às suas características de baixa emissão de calor e a possibilidade de controle do espectro emitido (MORROW, 2008). As primeiras pesquisas feitas pelo Kennedy Space Center (KSC) em horticultura avaliaram as respostas fisiológicas de plantas em ambientes de luz controlada por LED, sendo elas: trigo (GOINS *et al.*, 1997), alface, rabanete (GOINS *et al.*, 2001; YORIO *et al.*, 2001) e pimenta (BROWN; SCHUERGER; SAGER, 1995).

Um detalhe importante no fornecimento artificial de luz para as plantas está na entrega de fótons adequados, os quais as plantas necessitam para realizar a fotossíntese. Existem maneiras de medir a intensidade das luzes, a primeira delas é através da luminosidade ou lúmens, que é uma medida relativa à percepção da luz ao olho humano, não sendo útil para o crescimento vegetal. Para medir a quantidade de fótons, é necessário utilizar então um medidor, que fornecerá a medida em PPF (photosynthetic photon flux density) ou fótons por $m^2 \cdot s^{-1}$. O PPF é a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos. Essa medida vai indicar se a quantidade fornecida de fótons é a ideal para o desenvolvimento pleno da planta.

Lâmpadas LEDs são um tipo único de diodo semiconductor e podem ter um pico de emissão de luz variando de 220 nm a 1.000 nm. É considerado o primeiro dispositivo que tem a capacidade de controle espectral, permitindo que os comprimentos de onda sejam adaptados aos fotorreceptores dos vegetais, influenciando de maneira satisfatória a morfologia e composição das plantas (OLLE; VIRSILÈ, 2013).

A luz LED é considerada a melhor em relação a qualidade de luz para a produção de plantas, pois combina os comprimentos de ondas ideais para o desenvolvimento. Shimizu *et al.* (2011) concluíram que a luz monocromática vermelha é a mais eficiente na fotossíntese e crescimento (mensurado pelo peso úmido) de *Lactuca sativa* L. em comparação com a monocromática azul, e outras combinações de luzes. No entanto, algumas plantas, mesmo apresentando comprimentos superiores, possuíam aparência ruim.

Pesquisas apontaram também, que o peso da massa seca elevou sob condições de luz azul. Já na combinação de luzes vermelha e azul, houve aumento no crescimento vegetal e na fotossíntese (HIRAI; AMAKI; WATANABE, 2006). Outras vantagens que podem ser destacadas na sua utilização é que elas possuem o tamanho reduzido, alta durabilidade, são lâmpadas frias e possuem a opção de selecionar os comprimentos de onda específicos para obter uma resposta desejável na planta (MASSA *et al.*, 2008).

Bula *et al.* (1991) foram os primeiros a sugerirem a utilização de lâmpadas LEDs para o crescimento de plantas e relataram que o crescimento de alface sob luz vermelha suplementada com luz azul fluorescente era equivalente ao encontrado sob lâmpada fluorescente branca mais lâmpadas incandescentes. Testes subsequentes realizados por esse mesmo grupo mostrou que hipocótilos e cotilédones de mudas de alface sob luz vermelha, tornaram-se alongadas, e que esse efeito poderia ser evitado pela adição de luz azul durante o seu desenvolvimento (HOENECKE; BULA; TIBBITTS, 1992).

O potencial de lâmpadas LEDs para utilização em cultivos de plantas continuou então a ser estudado. Comparações da incidência de luz vermelha em *Pueraria lobata* mostraram que as folhas possuíam pequenas diferenças na condutância estomática, mas apresentaram semelhantes respostas fotossintéticas (TENNESSEN; SINGSAAS; SHARKEY, 1994).

Em morango (*Fragaria ananassa*), foi estudada a taxa fotossintética das folhas submetidas à iluminação com lâmpadas LED vermelha (660 nm) ou azul (450 nm), mostrando alta eficiência quântica nos tratamentos sob luz vermelha (YANAGI; OKAMOTO; TAKITA, 1996). Já as plantas de arroz cultivadas com lâmpadas LEDs vermelho (660 nm) e azul (470 nm) combinadas apresentaram taxas fotossintéticas mais elevadas do que as folhas de plantas cultivadas sob lâmpadas LEDs vermelha monocromática (MATSUDA *et al.*, 2004).

Em relação a utilização da luz azul, quantidade ótima e espectro são variáveis de acordo com a espécie. No entanto, sabe-se que esse feixe de luz desempenha papel fundamental na fotomorfologia das plantas, incluindo abertura estomática (MASSA *et al.*, 2008; SCHWARTZ; ZEIGER, 1984) que afetarão as relações hídricas, trocas gasosas, alongamento de células (COSGROVE, 1981) e fototropismo (BLAAUW; BLAAUW-JANSEN, 1970). Um grupo de pesquisadores de Wisconsin, nos Estados Unidos, também afirmam que há uma necessidade de suplementar a luz vermelha de LED com a cor azul no crescimento de sementes de alface para que se obtenha um crescimento aceitável das plantas (HOENECKE; BULA; TIBBITTS, 1992).

Ainda há estudos que citam o uso de espectros de LED controlados como estimulantes da maturação precoce, do florescimento uniforme e da produção de maiores teores de minerais e vitaminas em plantas ornamentais e hortícolas sazonais (MASSA *et al.*, 2008).

2.3 Importância da luz para a germinação e desenvolvimento de plântulas

A exigência em luz necessária para a germinação de sementes e o desenvolvimento de plantas varia entre as espécies e dentro de uma mesma espécie, podendo ter variação até mesmo dentro de cultivares. Os fatores que mais determinam o desenvolvimento de plantas são as

condições edáficas, disponibilidade de água, luminosidade e temperatura. Dentre estes destacamos a luz, que é um importante fator no crescimento de plantas, pois é promotora da fotossíntese (FERREIRA et. al. 1997; SANTOS, 2006).

As sementes podem ser classificadas em três categorias, dependendo das suas respostas quanto ao estímulo luminoso (METIVIER; VIANA, 1979), sendo elas: sementes fotoblásticas positivas, que são aquelas em que a germinação é estimulada na presença de luz, fotoblásticas negativas, aquelas na qual a germinação pode ser inibida na presença de luz (ATTRIDGE, 1990) e, por fim, as fotoblásticas neutras, que são indiferentes quanto a presença ou ausência de luz.

Nas plantas, existe um pigmento responsável pela absorção da luz, chamado fitocromo. O fitocromo é um pigmento proteico de coloração azul-esverdeada que participa da fisiologia das plantas em resposta a exposição periódica à luz. A presença do fitocromo foi identificada em sementes de alface há mais de 60 anos por pesquisadores americanos (BORTHWICK *et al.*, 1952), sendo de vasto conhecimento que os fitocromos vermelho distante (P_{fr}), ou vermelho longo, e vermelho (P_r) são responsáveis por promover a germinação de sementes.

O fitocromo vermelho (P_r) tem a faixa de absorção entre 620-700 nm e o vermelho distante (P_{fr}) entre 710-850 nm, existindo uma relação de reversibilidade entre o P_r e o P_{fr} , sendo descoberto posteriormente que essa conversão de vermelho em vermelho distante acontecia apenas em um fitocromo, sendo o P_r chamado de forma inativa e ao receber estímulo da luz vermelha se torna ativo (P_{fr}). No escuro, o P_{fr} pode voltar a forma P_r , mas esse processo é considerado lento. No entanto, o P_{fr} pode ser convertido rapidamente de volta para a forma inativa P_r na presença de luz, nos comprimentos de onda do vermelho distante. À essa propriedade dos fitocromos em se converterem nas formas ativa e inativa, dá-se o nome de fotoreversibilidade. Eles têm papel importante como captadores de luz, dando início a uma série de transcrições gênicas que vão acarretar diferentes estímulos na planta (TAIZ *et al.*, 2017).

O mecanismo responsável pela germinação de sementes expostas à luz é explicado pela relação dos fitocromos e a síntese do hormônio giberelina em algumas espécies (PENG *et al.*, 1997; YANG; PEI, 1997), sendo que as giberelinas atuam na promoção da germinação (LOVEGROVE; HOOLEY, 2000). Quando está na forma ativa é responsável pela expressão gênica que conduz à síntese de giberelina. Já na forma inativa, é responsável pela síntese de ácido abscísico (ABA), um inibidor da germinação (FLOSS, 2004).

Em sementes de *Arabidopsis*, confirmou-se que há uma expressão do gene promotor da GA 3 β -hidroxilase, enzima relacionada à síntese de giberelina em sementes, e que é regulada pela ação dos fitocromos (YAMAGUCHI *et al.*, 1998).

Também, foi constatado que o fitocromo ativo na faixa do vermelho promove a germinação de sementes dormentes de alface, em partes por indução da quebra de proteínas e lipídeos (NABORS; KUGRENS; ROSS, 1974). Conforme exibido na Tabela 1, pode-se verificar que os experimentos com sementes de alface demonstraram a eficiência da radiação vermelho-curta (600 nm) na indução à germinação e o efeito inibidor da radiação vermelho-longo (730 nm) (BRYANT, 1989).

Tabela 1 - Efeitos de diferentes condições de iluminação sobre a germinação de sementes de alface *Lactuca sativa*.

Condições de iluminação	Poder germinativo (%)
Escuro	20
Luz branca	92
Luz vermelha (660 nm)	98
Luz vermelho-longo (730 nm)	1
Vermelho, vermelho longo	2
Vermelho, vermelho longo, vermelho	98
Vermelho, vermelho longo, vermelho, vermelho longo	1

Fonte: Bryant (1989).

Evenari e Neumann (1952) descobriram que ao remover o tegumento e o endosperma de sementes de alface Grand Rapid, em condições de escuro e de luz, os embriões germinam em água, o que indica uma possível barreira tegumentar quanto a entrada de luz nas sementes, influenciando a germinação.

Apesar de algumas sementes terem preferência por ambientes sem luminosidade ou fotoblásticas neutras, todas as plantas necessitam de luz para se desenvolver, através do processo da fotossíntese. Os comprimentos de onda do vermelho e azul estão presentes naturalmente na luz solar, no entanto, a utilização de luzes monocromáticas vermelha ou azul não são indicadas para o crescimento normal de plantas. Plantas expostas à luz monocromática vermelha apresentam anormalidades na morfologia e redução da taxa fotossintética líquida (GOINS *et al.*, 1998; HOGEWONING *et al.*, 2010).

A luz azul apresenta papel importante no fototropismo das plantas, no controle do desenvolvimento do hipocótilo de plantas, atuando como inibidora do alongamento do mesmo em plantas de tomate (NANYA *et al.*, 2012), na estimulação da síntese de carotenos e abertura estomática. Os fotorreceptores que absorvem a luz azul no comprimento de 320 nm a 500 nm são das classes dos criptocromos, fototropinas e proteínas ZLT (TAIZ *et al.*, 2017).

A luz azul monocromática por longos períodos também apresentou resultados inferiores de taxa fotossintética líquida em diversas espécies (KIM *et al.*, 2004; WADA; KAGAWA; SATO, 2003), além de prejudicar a condutância mesofílica (LORETO; TSONEV; CENTRITTO, 2009).

Em plântulas de alface, um trabalho feito com alternância da luz azul e vermelha por um período de 24 horas, mostrou que o peso fresco de plântulas que cresceram sob luz vermelha por 4 horas e azul por 7 horas foi melhor que a utilização da luz vermelha e azul simultaneamente (JISHI *et al.*, 2016).

Chen *et al.* (2017) também estudaram os efeitos da luz vermelha alternada com a luz azul em plantas de alface e concluíram que alternância de 8 horas vermelho e 1 hora azul durante o fotoperíodo acelerou o crescimento da planta e folhas em altura, comprimento e largura. Já nos tempos de alternância de 4:4 horas e 2:2 horas observou-se também aumento no conteúdo de ácido ascórbico e nitrato, indicando maiores valores nutritivos.

Para mudas de alface, foi constatado que plantas submetidas ao tratamento com luzes nas faixas do vermelho, azul e vermelho distante (B+R/FR) obtiveram maiores áreas foliares em relação aos tratamentos com luzes vermelha e azul. Mas, o conteúdo de clorofila foi reduzido quando expostas a essas alternâncias com o vermelho distante (LEE; SON; OH, 2016), indicando que a rápida expansão e crescimento das folhas reduzem o conteúdo de clorofila em folhas de alface (LI; KUBOTA, 2009).

Em plantas de girassol e berinjela, a luz monocromática de LED azul promoveu o alongamento do caule. Em contrapartida, em plantas de alface as luzes vermelha, verde + vermelha e verde + azul promoveram maior alongamento do caule em comparação com a azul monocromática (HIRAI; AMAKI; WATANABE, 2006), sendo concluído que existem diferenças no crescimento de plantas em diferentes qualidades de luz variando de acordo com cada espécie.

A luz verde também foi utilizada em alternância com as luzes vermelhas e azuis, e estudos mostraram que uma adição de 24% de luz verde (500 nm a 600 nm) (tratamento RGB) aumentou o crescimento de plantas de alface em comparação com o controle na luz fluorescente fria, revelando melhora na aparência das folhas, que estavam “mais verdes” (KIM *et al.*, 2004). Foi constatado também que a luz verde retarda ou cessa o desenvolvimento da planta, mas tem alguns efeitos positivos sob condições especiais (TERASHIMA *et al.*, 2009).

2.4 Luz e o sistema antioxidante das plantas

A degeneração de tecidos vegetais e toxicidade por íons são algumas das causas do estresse oxidativo em plantas, provocados pela alta produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), principalmente o ânion superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), oxigênio singlete (1O_2) e o radical hidroxila (OH^\cdot) (FOYER; NOCTOR, 2003). O sistema de defesa das plantas atua tanto na remoção das EROs quanto limitando sua formação. Esse sistema é composto por enzimas, como superóxido dismutase (SOD; EC 1.15.1.1), catalase (CAT; EC 1.11.1.6), ascorbato peroxidase (APX; EC 1.11.1.1), glutathione peroxidase (GPX; EC 1.11.1.9) e também metabólitos como carotenoides, glutathione, tocoferol e ascorbato (KAR, 2011). A SOD constitui a primeira linha de defesa contra as EROs, sendo responsável pela dismutação e redução do ânion O_2^- em H_2O_2 e O_2 (reação a seguir):

SOD (EC 1.15.1.1): $2H^+ + 2O_2^{\cdot-} \rightarrow H_2O_2 + O_2$ (LEONOWICZ *et al.*, 2018).

Essa enzima está presente na maioria dos subcompartimentos celulares, em especial onde há alta produção de superóxido, como nos sítios da cadeia transportadora de elétrons, mitocôndrias, peroxissoma e cloroplastos (ALSCHER; ERTURK; HEATH, 2002). Ela desempenha papel crucial na eliminação das EROs produzidas durante os processos metabólicos, principalmente sob condições de estresse abiótico. A produção de ERO sob condições de estresse abiótico é resultado de vias como a fotorrespiração, o sistema fotossintético das plantas e a respiração mitocondrial. Além disso, patógenos, ferimentos, seca ou estresse osmótico também podem ativar a produção de EROs (LEONOWICZ *et al.*, 2018).

O radical livre superóxido (O_2^-) é moderadamente reativo, podendo causar danos pela oxidação de lipídeos, ao ser dismutado em H_2O_2 . A partir do radical superóxido, também são formados os radicais hidroperoxila (HO_2^\cdot), que tem capacidade de atravessar membranas e causar auto-oxidação dos lipídeos das células vegetais, retirando átomos de hidrogênio desses ácidos graxos (SHARMA *et al.*, 2012).

Outra forma de radical livre é a hidroxila (OH^\cdot), que é a mais reativa das espécies reativas de oxigênio. Possui alta interação com moléculas biológicas, como o DNA, proteínas, lipídeos, causando diversos danos celulares, e seu acúmulo pode levar a morte celular (FOYER *et al.*, 1997). É formado de duas maneiras: a partir da O_2^- ou H_2O_2 na reação de Haber-Weiss ou na reação de Fenton, ou seja, pela redução do Fe^{3+} pelo O_2^- e oxidação desse produto pelo H_2O_2 (POSPISIL, 2016). No entanto, as células não são capazes de eliminar o radical hidroxila, sendo a principal defesa das células as ações das enzimas CAT e APX, que catalisam o peróxido

de hidrogênio em água, evitando assim a formação do OH^\cdot . A APX é a molécula considerada mais eficiente na remoção do peróxido das células, pela via do ascorbato-glutationa, que utiliza o ascorbato como doador de elétrons para reduzir a H_2O_2 em H_2O . Ela está presente em pelo menos quatro compartimentos celulares: mitocôndrias, citosol, peroxissomo e cloroplastos (SHARMA *et al.*, 2012).

Já o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), pela capacidade de difundir-se livremente pelas células, pode ser encontrado em outros compartimentos celulares que não o de sua origem. É um importante sinalizador, podendo ser usado para diversos fins de pesquisa. O H_2O_2 , como mencionado anteriormente, é formado pela reação de catalização do O_2^- , pela SOD. Ele é moderadamente reativo nas células, mas possui meia vida longa (BERWAL; RAM, 2018). Dentre os processos celulares responsáveis por sua formação, destaca-se a fotorrespiração e a oxidação de ácidos graxos, provocando danos aos ácidos nucleicos, proteínas e lipídeos (AHMAD; SARWAT; SHARMA, 2008).

Por muito tempo, acreditou-se que as EROs possuíam apenas atividades destrutivas nas plantas. Hoje, porém, sabe-se que elas são moléculas de grande importância no metabolismo, não sendo vistas apenas como substâncias tóxicas mas sim como moléculas sinalizadoras em plantas, sob condições de estresses bióticos e abióticos (SANTOS *et al.*, 2015).

A luz, juntamente com outros fatores abióticos como temperatura, é um dos principais fatores que afetam o crescimento das plantas. Por isso, mudanças na intensidade podem gerar respostas diversas nos vegetais. Pesquisas mostram que a luz em diferentes espectros é uma fonte de produção de EROs (EL-ESAWI *et al.*, 2017; JOURDAN *et al.*, 2015; WEIGUO *et al.*, 2012; ZHANG *et al.*, 2014; ZHOU *et al.*, 2021; ZHU *et al.*, 2021).

Quando as plantas são expostas à alta intensidade de luz, que excedam a sua capacidade de absorção, ocorre uma super-redução da cadeia transportadora de elétrons que inibe a fotossíntese. No PSII, o excesso de energia produz clorofila no estado tripleto, como mencionado anteriormente, isso gera excitação da molécula de O_2 em oxigênio singleto, consequentemente em H_2O_2 (PITZSCHKE; FORZANI; HIRT, 2006). Esse estresse é chamado de estresse foto-oxidativo e tem duas fontes principais: 1) a doação de energia ou elétrons ligados diretamente ao oxigênio como resultado da fotossíntese; 2) exposição de tecidos à radiação ultravioleta. Como agravante, destaca-se também a destruição da enzima CAT, responsável pela defesa das células contra EROs. No entanto, o cloroplasto utiliza a produção e as reações de catalização do peróxido de hidrogênio como regulador da dissipação térmica e do excesso de energia (FOYER; LELANDAIS; KUNERT, 1994).

As plantas naturalmente produzem radicais livres e o mecanismo de defesa é extremamente eficiente e complexo. O estresse será negativo, portanto, a partir do momento em que as enzimas catalisadoras e metabólitos não conseguirem eliminar os radicais livres a um nível de controle (REDDY; RAGHVENDRA, 2006).

REFERÊNCIAS

- AHMAD, P.; SARWAT, M.; SHARMA, S. Reactive oxygen species, antioxidants and signaling in plants. **Journal of Plant Biology**, v. 51, n. 3, p. 167-173, 2008.
- ALSCHER, R. G.; ERTURK, N.; HEATH, L. S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 372, p. 1331-1341, 2002.
- AN, Z. F.; ZHOU, C. J. Light induces lettuce seed germination through promoting nitric oxide production and phospholipase D-derived phosphatidic acid formation. **South African Journal of Botany**, v. 108, p. 416-422, 2017.
- ATTRIDGE, T. H. Light and plant responses: a study of plant photophysiology and the natural environment. **Cambridge University Press**, 1990.
- BERTRAM, L.; LERCARI, B. Kinetics of Stem Elongation in Light-Grown Tomato Plants. Responses to Different Photosynthetically Active Radiation Levels by Wild-Type and aurea Mutant Plants. **Photochemistry and photobiology**, v.66, n.3, p.396-403, 1997.
- BERWAL, M.; RAM, C. Superoxide dismutase: A stable biochemical marker for abiotic stress tolerance in higher plants. **Abiotic and Biotic Stress in Plants**, p. 1-10, 2018.
- BLAAUW, O. H.; BLAAUW-JANSEN, G. THIRD POSITIVE (C-TYPE) PHOTOTROPISM IN THE AVENA COLEOPTILE 1. **Acta Botanica Neerlandica**, v.19, n.5, p.764-776, 1970.
- BORTHWICK, H. A. *et al.* A reversible photoreaction controlling seed germination. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.38, n.8, p.662, 1952.
- BOURGET, C. M. An introduction to light-emitting diodes. **HortScience**, v.43, n.7, p. 1944-1946, 2008.
- BROWN, C. S.; SCHUERGER, Andrew C.; SAGER, John C. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.120, n.5, p.808-813, 1995.
- BRYANT, J. A. **Fisiologia da semente**. São Paulo: EPU, 86 p., 1989.
- BULA, R. J. *et al.* Light-emitting diodes as a radiation source for plants. **HortScience**, Virginia, v.26, n.2, p.203-205, 1991.
- CHEN, X. L. *et al.* Growth and nutritional properties of lettuce affected by different alternating intervals of red and blue LED irradiation. **Scientia Horticulturae**, v.223, p.44-52, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Boletim Hortigranjeiro**. – Brasília: Conab, 2021 v.7 n.8. Disponível em: www.conab.gov.br. ISSN: 2446-5860. Acesso: ago. de 2021.

COSGROVE, D. J. Rapid suppression of growth by blue light: occurrence, time course, and general characteristics. **Plant Physiology**, v.67, n.3, p.584-590, 1981.

EL-ESAWI, M. *et al.* Blue-light induced biosynthesis of ROS contributes to the signaling mechanism of Arabidopsis cryptochrome. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. HORTALIÇAS, EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de Produção**. Disponível em: Acesso em, v. 25, 2014.

EVENARI, M.; NEUMANN, G. The germination of lettuce seed. II. The influence of fruit coat, seed coat and endosperm upon germination. **Bulletin of the Research Council of Israel**, v.2, p.75-78, 1952.

FERREIRA, M. G. M. *et al.* Efeito do sombreamento na produção de mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Árvore**, v.1(2): p.121-134. R. 1997.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de Olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças 3 ed. Viçosa, MG: UFV, p.418, 2013.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê**. Literatura, v.2, p. 169-198, 2004.

FOYER, C. H. *et al.* Hydrogen peroxide-and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signalling. **Physiologia Plantarum**, v. 100, n. 2, p. 241-254, 1997.

FOYER, C. H.; LELANDAIS, M.; KUNERT, K. J. Photooxidative stress in plants. **Physiologia Plantarum**, v. 92, n. 4, p. 696-717, 1994.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. **Physiologia Plantarum**, v. 119, n. 3, p. 355-364, 2003.

GOINS, G. D. *et al.* Life cycle experiments with Arabidopsis grown under red light-emitting diodes (LEDs). **Life Support & Biosphere Science**, v.5, n.2, p.143-149, 1998.

GOINS, G. D. *et al.* Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting. **Journal of Experimental Botany**, v.48, n.7, p.1407-1413, 1997.

GOINS, G. D. *et al.* Salad crop production under different wavelengths of red light-emitting diodes (LEDs). **SAE Technical Paper**, v. 1, p.2422, 2001.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. A. Tipos de alface cultivados no Brasil. **Embrapa Hortaliças- Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2009.

- HIRAI, T.; AMAKI, W.; WATANABE, H. Effects of monochromatic light irradiation by LED on the internodal stem elongation of seedlings in eggplant, leaf lettuce and sunflower. **Journal of Society of High Technology in Agriculture (Japan)**, v.18, n.2, p.160-166, 2006.
- HOENECKE, M. E.; BULA, R. J.; TIBBITTS, T. W. Importance of Blue Photon levels for Lettuce seedlings grown under red-light-emitting diodes. **HortScience**, Virginia, v.27, n.5, p.427-430, 1992.
- HOGEWONING, S. W. *et al.* Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. **Journal of Experimental Botany**, v.61, n.11, p.3107-3117, 2010.
- JISHI, T. *et al.* Effects of temporally shifted irradiation of blue and red LED light on cos lettuce growth and morphology. **Scientia Horticulturae**, v.198, p.227-232, 2016.
- JOURDAN, N. *et al.* Blue-light dependent ROS formation by Arabidopsis cryptochrome-2 may contribute toward its signaling role. **Plant Signaling & Behavior**, v. 10, n. 8, p. e1042647, 2015.
- KAR, R. K. Plant responses to water stress: role of reactive oxygen species. **Plant Signaling & Behavior**, v. 6, n. 11, p. 1741-1745, 2011.
- KIM, H. H. *et al.* Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red-and blue-light-emitting diodes. **HortScience**, v.39, n.7, p.1617-1622, 2004.
- LEE, M. J; SON, K. H.; OH, M. M. Increase in biomass and bioactive compounds in lettuce under various ratios of red to far-red LED light supplemented with blue LED light. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v.57, n.2, p.139-147, 2016.
- LEONOWICZ, G. *et al.* The activity of superoxide dismutases (SODs) at the early stages of wheat deetiolation. **Plos One**, v. 13, n. 3, p. e0194678, 2018.
- 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, 2009.
- LORETO, F.; TSONEV, T.; CENTRITTO, M. The impact of blue light on leaf mesophyll conductance. **Journal of Experimental Botany**, v.60, n.8, p. 2283-2290, 2009.
- LOVEGROVE, A.; HOOLEY, R. Gibberellin and abscisic acid signalling in aleurone. **Trends in Plant Science**, v.5, n.3, p.102-110, 2000.
- MASSA, G. D. *et al.* Plant productivity in response to LED lighting. **HortScience**, Virginia, v.43, n.7, p.1951-1956, 2008.
- MATSUDA, R. *et al.* Photosynthetic characteristics of rice leaves grown under red light with or without supplemental blue light. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v.45, n.12, p.1870-1874, 2004.

- METIVIER, J.; VIANA, A. M. The effect of long and short day length upon the growth of whole plants and the level of soluble proteins, sugars, and stevioside in leaves of *Stevia rebaudiana* Bert. **Journal of Experimental Botany**, v. 30, n.6, p. 1211-1222, 1979.
- MORROW, R. C. LED lighting in horticulture. **HortScience**, Virginia, v.43, n.7, p.1947-1950, 2008.
- MUSTILLI, A. C.; BOWLER, C. Tuning in to the signals controlling photoregulated gene expression in plants. **The EMBO journal**, v.16, n.19, p.5801-5806, 1997.
- NABORS, M. W.; KUGRENS, P.; ROSS, C.. Photodormant lettuce seeds: Phytochrome-induced protein and lipid degradation. **Planta**, v. 117, n. 4, p. 361-365, 1974.
- NANYA, K. *et al.* Effects of blue and red light on stem elongation and flowering of tomato seedlings. In: **VII International Symposium on Light in Horticultural Systems 956**. 2012. p. 261-266.
- OLLE, M.; VIRŠILE, A. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. **Agricultural and Food Science**, Hameenlinna, v.22, n.2, p.223-234, 2013.
- PENG, J. *et al.* The Arabidopsis GAI gene defines a signaling pathway that negatively regulates gibberellin responses. **Genes & Development**, v. 11, n. 23, p. 3194-3205, 1997.
- PITZSCHKE, A.; FORZANI, C.; HIRT, H. Reactive oxygen species signaling in plants. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 8, n. 9-10, p. 1757-1764, 2006.
- POSPÍŠIL, P. Production of reactive oxygen species by photosystem II as a response to light and temperature stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1950, 2016.
- REDDY, A. R.; RAGHAVENDRA, A. S. Photooxidative stress. In: **Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants**. Springer, Dordrecht, 2006. p. 157-186.
- RESENDE, F. V. *et al.* Cultivo de alface em sistema orgânico de produção. Brasília, DF: **Embrapa Hortaliças, Circular Técnica**, v. 56, p. 16, 2007.
- REYNOLDS, T.; THOMPSON, P. A. Characterisation of the high temperature inhibition of germination of lettuce (*Lactuca sativa*). **Physiologia Plantarum**, v. 24, n. 3, p. 544-547, 1971.
- SALA, F. C.; COSTA, C. P. da. Retrospectiva e tendência da alfaceicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 187-194, 2012.
- SALA, F. C.; COSTA, C. P. da. 'PiraRoxa': cultivar de alface crespa de cor vermelha intensa. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 158-159, 2005.
- SANTOS, H. O. dos; *et al.* Proteins expression and germination of maize seeds submitted to saline stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 44, p. 4102-4107, 2015.

SANTOS, D. L. Aspectos Fisiológicos de Cedro Rosa (*Cedrela fissilis* VELLOZO) - MELIACEAE. Braz. arch. **Biology and Technology**, v. 49 n. 1, 2006.

SCHWARTZ, A.; ZEIGER, E. Metabolic energy for stomatal opening. Roles of photophosphorylation and oxidative phosphorylation. **Planta**, v. 161, n. 2, p. 129-136, 1984.

SHARMA, P. *et al.* Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, v. 2012, 2012.

SHIMIZU, H. *et al.* Light environment optimization for lettuce growth in plant factory. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 44, n. 1, p. 605-609, 2011.

SHIMIZU, H. *et al.* Blue light inhibits stem elongation of chrysanthemum. In: **V International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture 711**. p. 363-368, 2005.

SILVA, A. C. F.; REBELO, J. A.; MÜLLER, J. J. V. Produção de sementes de alface em pequena escala. **Agropecuária Catarinense**, v. 8, n. 1, p. 41-44, 1995.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Artmed Editora, 6^a edição, 888 p., 2017.

TENNESSEN, D. J.; SINGSAAS, E. L.; SHARKEY, T. D. Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. **Photosynthesis Research**, Baton Rouge, v.39, n.1, p. 85-92, 1994.

TERASHIMA, I. *et al.* Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic question of why leaves are green. **Plant and Cell Physiology**, v.50, n.4, p.684-697, 2009.

WADA, M.; KAGAWA, T.; SATO, Y. Chloroplast movement. **Annual Review of Plant Biology**, v.54, n.1, p.455-468, 2003.

WEIGUO, F. *et al.* Effects of different light intensities on anti-oxidative enzyme activity, quality and biomass in lettuce. **Horticultural Science**, v. 39, n. 3, p. 129-134, 2012.

YAMAGUCHI, S. *et al.* Phytochrome regulation and differential expression of gibberellin 3 β -hydroxylase genes in germinating Arabidopsis seeds. **The Plant Cell**, v. 10, n. 12, p. 2115-2126, 1998.

YANAGI, T.; OKAMOTO, K.; TAKITA, S. Effect of blue and red light intensity on photosynthetic rate of strawberry leaves. In: **International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems**, v. 440, p.371-376, 1996.

YANG, Y.; PEI, Q. Efficient blue-green and white light-emitting electrochemical cells based on poly [9, 9-bis (3, 6-dioxahexyl)-fluorene-2, 7-diyl]. **Journal of Applied Physics**, v. 81, n. 7, p. 3294-3298, 1997.

YORIO, N. C. *et al.* Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. **HortScience**, v.36, n.2, p.380-383, 2001.

ZHANG, Y. *et al.* Involvement of reactive oxygen species in endosperm cap weakening and embryo elongation growth during lettuce seed germination. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 12, p. 3189-3200, 2014.

ZHOU, C. *et al.* Regulation of ascorbate accumulation and metabolism in lettuce by end-of-production high light irradiation provided by red and blue LEDs. **Environmental and Experimental Botany**, v. 189, p. 104567, 2021.

ZHU, Q. *et al.* Highly efficient yellow organic light-emitting diodes with slow efficiency roll-off by mixing red and green emissions. **Optical Materials**, v. 119, p. 111309, 2021.

CAPÍTULO 2

ESPECTROS LUMINOSOS E SUA INFLUÊNCIA NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE ALFACE CV. VERÔNICA

RESUMO

O cultivo de hortaliças em ambiente protegido com fornecimento artificial de luz tem se tornado cada dia mais comum. A luz LED (*light emitting diode*), em diferentes espectros de luz é uma alternativa em comparação com outras fontes luminosas por apresentar vantagens como durabilidade, controle espectral e não emissão de calor, contudo, o fornecimento de luz artificial em excesso pode provocar danos foto-oxidativos nas plantas. Esse trabalho teve o objetivo de avaliar a germinação de sementes, crescimento e bioquímica de plântulas de alface da cultivar Verônica sob diferentes espectros luminosos. O experimento foi realizado no Laboratório Central de Pesquisa em Sementes da UFLA, em B.O.D. com fotoperíodo de 12 horas e 20°C. As B.O.D foram acopladas com de luzes LED branca e LED colorida (vermelha - V + azul - A) na proporção de 100% V, 80% V + 20% A, 50% V + 50% A e 80% A + 20% V. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), no esquema fatorial 2x4 (duas condições de luz e quatro lotes) com quatro repetições. Foram avaliados a porcentagem de germinação, primeira contagem, índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da raiz primária (R), comprimento da parte aérea (PA), tamanho total da plântula (TP), razão parte aérea/raiz (PA/R), por análise de imagem. A expressão das enzimas SOD, CAT e APX, foi realizada, para três tratamentos: luz LED branca, luz LED colorida e luz fluorescente, e a quantificação das enzimas SOD, CAT e POX, com objetivo de avaliar se os tratamentos provocaram danos foto-oxidativos nas plântulas. A luz LED colorida promove rápida protrusão radicular, maior IVG, maior comprimento total de plântulas e maior comprimento da raiz primária em comparação à luz LED branca. Houve baixa expressão das enzimas CAT e POX pela técnica de eletroforese e a quantificação das enzimas SOD, CAT e APX indicaram que a qualidade da luz utilizada nesse trabalho não provoca estresse foto-oxidativo em plântulas de alface.

Palavras-chave: Luz LED. Índice de velocidade de emergência. EROs. Estresse Oxidativo.

INFLUENCE OF LIGHT SPECTRUMS ON SEED GERMINATION AND SEEDLING GROWTH OF LETTUCE CV. VERÔNICA

ABSTRACT

Growing vegetables in a controlled environment with artificial light supply has become more and more common. LED (light emitting diode) light in different light spectra is an alternative compared to other light sources because it presents advantages such as durability, spectral control and no heat emission, however, the supply of artificial light in excess can cause oxidative damage in plants. This work aimed to evaluate seed germination, seedling growth and biochemical aspects of lettuce, cultivar Verônica under different light spectra. The experiment was carried out at the Central Laboratory of Seed Research from UFLA, in B.O.D. with 12-hour photoperiod and 20°C. The BODs were coupled with white and colored LED lights (red - V + blue - A) in the proportion of 100% V, 80% V + 20% A, 50% V + 50% A and 80% A + 20% V. The experiment was carried out in a completely randomized design, in a 2x4 factorial scheme (two light conditions and four lots) with four replications. Germination percentage, first count, germination speed index (GSI), primary root length (R), shoot length (SL), total seedling size (TS), shoot/root ratio (S/R) were evaluated., by image analysis. The expression of the enzymes SOD, CAT and APX was realized for three treatments: white LED light, colored LED light and fluorescent light, and the quantification of the enzymes SOD, CAT and POX, in order to assess whether the treatments caused photo oxidative damage in seedlings. Color LED light promotes rapid root protrusion, higher GSI, longer total seedling length and longer primary root length compared to white LED light. There was low expression of CAT and POX enzymes by the electrophoresis technique and the quantification of SOD, CAT and APX enzymes indicated that the quality of light used in this work does not cause photo-oxidative stress in lettuce seedlings.

Keywords: LED Light. Germination Speed Index. ROS. Oxidative Stress.

1 INTRODUÇÃO

A luz, juntamente com a água e temperatura são os principais meios que determinam o crescimento dos vegetais, sendo que para a germinação de sementes, a luz pode ou não ser necessária. As sementes que precisam de luz para germinar são chamadas de fotoblásticas positiva. Esse mecanismo, responsável pela germinação de sementes expostas à luz tem relação com o fitocromo e desencadeiam reações que promovem a produção de giberelina nas sementes (YANG; PEI, 1997). Contudo, o fornecimento de luz artificial para sementes e plântulas é complexo e envolve diversas reações nas plantas, entre elas o crescimento acelerado e a produção de radicais livres.

A utilização de LED para o crescimento de plantas tem aumentado, sendo uma inovação na agricultura. Esse sistema promove o crescimento preciso de plantas, através do controle espectral (MORROW, 2008). Aliado a essa tecnologia, destaca-se o cultivo protegido, amplamente utilizado na produção de hortaliças, favorecendo condições climáticas adequadas para produção ao longo do ano.

A alface é uma das hortaliças folhosas mais consumidas no mundo (FILGUEIRA, 2013). Dada a sua importância, a produção deve-se manter estável em todos os meses do ano. Sendo assim, entender os mecanismos que possibilitam o crescimento dessa hortaliça sob iluminação controlada é fundamental.

Contudo, o excesso de luz pode causar foto-oxidação nas células, e o fotossistema II é um dos principais produtores de espécies reativas de oxigênio (MURATA *et al.*, 2007), uma vez que o excesso de energia acumulado nas folhas estimula a produção de radicais livres responsáveis pela peroxidação de lipídeos, proteínas e DNA nas células (SEVENGOR *et al.*, 2011).

Assim, neste trabalho objetivou-se avaliar os benefícios do uso de luz LED colorida (vermelha e azul) em comparação com a luz LED branca, na germinação e crescimento de plântulas de alface bem como estudar os efeitos da luz LED branca, luz LED colorida e luz fluorescente sob o sistema antioxidante das plântulas de alface, pela avaliação das enzimas SOD, CAT e peroxidase.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório Central de Pesquisa em Sementes da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – Minas Gerais. Foi composto de lotes de sementes de alface crespa, da variedade Verônica (Hortiagro®), avaliados sob dois tipos de iluminação em ambiente controlado (B.O.D).

O experimento foi dividido em duas etapas. A primeira parte foi composta pelos tratamentos com luzes Branca e Colorida. A luz Branca foi composta por uma B.O.D equipada com quatro luzes tubulares LED na cor branca, que configura todos os comprimentos de onda do espectro visível. O tratamento com luz Colorida foi composto de uma B.O.D com quatro luzes tubulares LED nas cores azul e vermelha, utilizando o esquema de combinação de lâmpadas e comprimento de onda apresentados na Tabela 2, pelo período de 7 dias, tempo de duração do teste de germinação para alface.

Tabela 2 - Esquema de troca de lâmpadas na B.O.D durante o período de sete dias.

Dia	Luz	Comprimento de onda
1	Vermelha 100%	625 nm
2	Vermelha 100%	625 nm
3	Vermelha 80% + Azul 20 %	580 nm
4	Vermelha 50% + Azul 50 %	510 nm
5	Vermelha 50% + Azul 50 %	510 nm
6	Vermelha 20% + Azul 80%	460 nm
7	Azul 100%	440 nm

Fonte: Autora (2021).

O esquema de troca de lâmpadas foi realizado baseado na literatura que cita que a luz vermelha favorece a protrusão radicular de sementes fotoblásticas positivas, e a luz azul que promove alongamento celular.

Teor de água das sementes: foi realizado pelo método da estufa à 105°C por 24 horas, com duas repetições de cada lote, segundo as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009), apresentados em porcentagem média.

As sementes dos lotes utilizados nos testes fisiológicos foram desinfetadas em solução de hipoclorito de sódio na concentração de 0,02% por 30 segundos, e posteriormente lavadas em água corrente por 3 minutos.

Teste de germinação: Foi feito nas duas B.O.D que compõe o tratamento de luz Branca e Colorida. O teste foi realizado em caixa acrílica tipo gerbox, com duas folhas de papel mata-borrão, umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do substrato seco. Os quatro lotes foram semeados em 4 repetições de 50 sementes e mantidos sob temperatura de 20°C, com fotoperíodo de 12 horas (BRASIL, 2009). As avaliações foram feitas no quarto e sétimo dia, segundo Brasil (2009), apresentadas em porcentagem de plântulas normais. Juntamente ao teste de germinação, avaliou-se o índice de velocidade de germinação (IVG), sendo feito através de contagens diárias da germinação das sementes, realizadas no mesmo horário, onde computou-se apenas as sementes com os dois folíolos completamente abertos. O cálculo dos índices foi realizado através da fórmula proposta por Maguire (1962).

Teste de tetrazólio: As sementes remanescentes do teste de germinação, que não estavam mortas, foram submetidas ao teste de tetrazólio a fim de verificar sua viabilidade. Para isso, retirou-se o tegumento das sementes e as mesmas foram colocadas em solução de 2,3,5 trifetil cloreto de tetrazólio, na concentração de 0,5%, por 4 horas no escuro, a 40°C. Em seguida, as sementes foram lavadas, cortadas longitudinalmente e mantidas em água até o momento da avaliação, que foi realizada com o auxílio de uma lupa com lâmpada acoplada. Foram verificadas as sementes que apresentaram coloração no embrião e esse resultado foi expresso em porcentagem de sementes viáveis (BRASIL, 2009).

Análise de imagens: O desenvolvimento de plântulas foi avaliado através do sistema de captura de imagem GroundEye® (versão S800). Para isso, foram retiradas 10 plântulas de cada repetição ao primeiro dia de contagem do teste de germinação e ao final do teste, considerando para a avaliação apenas plântulas normais. Na análise das imagens foram extraídos valores médios das características das plântulas como o comprimento da raiz primária (R), comprimento da parte aérea (PA), tamanho total da plântula (TP), razão parte aérea/raiz (PA/R). Esses valores foram submetidos ao teste de Tukey, para comparação de médias, ao nível de 5% de probabilidade.

Delineamento experimental: Para as análises de germinação e índice de velocidade de germinação (IVG), utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), fatorial 2x4, sendo dois tratamentos e quatro lotes. Os resultados foram submetidos à análise de variância, utilizando o software Sisvar® (FERREIRA, 2000) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Após os resultados obtidos na primeira parte do experimento, selecionou-se o lote com maior qualidade fisiológica para as análises bioquímicas, ou seja, o lote 4. Para a segunda parte do experimento foram utilizados três tratamentos, sendo eles três B.O.Ds equipadas com quatro

luzes tubulares de LED brancas (A), quatro luzes brancas fluorescentes (B) e quatro luzes de LED coloridas (C), no esquema de troca de lâmpadas coloridas, descrito na Tabela 2.

O teste de germinação foi realizado com sementes de alface do lote 4, em caixa acrílica tipo gerbox, com duas folhas de papel mata-borrão, umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do substrato seco. Foram semeadas em 4 repetições de 50 sementes, mantidos sob temperatura de 20°C, com fotoperíodo de 12 horas (BRASIL, 2009). Os gerbox foram acondicionados nas três B.O.Ds (luz fluorescente, luz LED branca e luz LED coloridas). As avaliações foram feitas no quarto e sétimo dia, segundo Brasil (2009), apresentadas em porcentagem de plântulas normais. Juntamente ao teste de germinação, avaliou-se o índice de velocidade de germinação (IVG), sendo feito através de contagens diárias da germinação das sementes, realizadas no mesmo horário, sendo computadas apenas as sementes com os dois folíolos completamente abertos. O cálculo dos índices foi realizado através da fórmula proposta por Maguire (1962).

Análises bioquímicas: Para as análises bioquímicas, utilizou-se plântulas oriundas do teste de germinação (A), (B) e (C), retiradas ao sétimo dia e sementes (S) do lote 4 como controle. As plântulas e sementes foram maceradas em moinho refrigerado com nitrogênio líquido e PVP (Polivinil Pirrolidone) imediatamente após o último dia do teste, e foram mantidas em *deep freezer* (-86°C) até o momento das análises, tanto para expressão quanto para quantificação das proteínas do sistema antioxidante.

Foram avaliadas a expressão das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (POX), por meio da técnica de eletroforese.

O tampão Tris HCL 0,2 M pH 8,0 + 0,1% de β -mercaptoetanol, na proporção de 250 μ L por 100 mg de material foi utilizado para extração das enzimas. O material foi homogeneizado em agitador vortex e mantido por 12 horas em geladeira, seguido de centrifugação a 14.000 rpm por 30 minutos, a 4°C. A corrida eletroforética ocorreu em sistema de géis descontínuos de poliacrilamida a 7,5% (gel separador) e 4,5% (gel concentrador). O sistema gel/eletrodo utilizado foi o Tris-glicina pH 8,9. Foram pipetados 50 μ L do sobrenadante das amostras no gel e a corrida eletroforética foi efetuada a 120 V por 8 horas, sob refrigeração (4°C). Ao terminar de correr, os géis foram revelados para as enzimas peroxidase (EC 1.11.1.7.), superóxido dismutase - SOD (EC 1.15.1.1.) e catalase - CAT (EC 1.11.1.6.) (ALFENAS, 2006). As bandas foram mensuradas com o auxílio do software ImageJ® (RASBAND, 2016), resultando em uma média de densidade para cada tratamento determinada pela quantidade de *pixels*.

Quantificação enzimática: Para a extração das enzimas do metabolismo antioxidante SOD (EC 1.15.1.1.), CAT (EC 1.11.1.6.) e Ascorbato peroxidase - APX (EC 1.11.1.11), 200

mg das amostras maceradas foram homogeneizados em 1,5 mL do tampão de extração. Em seguida, os materiais foram centrifugados a 12.000 g, por 30 minutos, a 4°C, coletando-se os sobrenadantes para as análises enzimáticas conforme apresentado por Biemelt; Keetman e Albrecht (1998).

A atividade da superóxido dismutase (SOD) foi determinada pela capacidade da enzima inibir a redução fotoquímica do *nitro blue tetrazolium* (NBT), proposta por Giannopolitis e Ries (1977). Os tubos contendo o tampão juntamente com a amostra e o controle (meio de incubação sem a amostra), foram iluminados com lâmpada fluorescente de 20 W por 7 minutos e as leituras realizadas a 560 nm. Uma unidade de SOD é definida pela quantidade de enzima que inibe 50% da taxa de redução do NBT. A leitura foi feita a 560 nm em espectrofotômetro.

A atividade da catalase (CAT) foi determinada pelo decréscimo na absorbância a 240 nm, a cada 15 segundos, por 3 minutos, monitorado pelo consumo de peróxido de hidrogênio (HAVIR; MCHALE, 1987). A reação foi iniciada pela adição do H₂O₂ ($\epsilon = 36 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$). Uma unidade de CAT é definida pela quantidade de enzima necessária para decompor 1 $\mu\text{mol min}^{-1}$ de H₂O₂.

A atividade da ascorbato peroxidase (APX) foi determinada pela diminuição da absorbância do ascorbato ($\epsilon = 2,8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) a 290 nm a cada 15 segundos durante 3 minutos, segundo (NAKANO; ASADA, 1981). Uma unidade de APX é definida pela quantidade de enzima que oxida 1 $\mu\text{mol min}^{-1}$ de ácido ascórbico.

Delineamento experimental: Para as análises de germinação e índice de velocidade de germinação (IVG) do lote 4, avaliadas na segunda parte do experimento, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 8 repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância, utilizando o software Sisvar® (FERREIRA, 2000). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As sementes de alface dos lotes utilizados apresentaram teor médio de água de 8,4%, ou seja, dentro da faixa indicada para sementes de alface armazenadas em câmara fria.

Por meio do teste de tetrazólio nas sementes remanescentes do teste de germinação, verificou-se que as sementes estavam mortas, não apresentando indícios de dormência.

Para a porcentagem de germinação (TABELA 3), não houve diferença significativa entre as luzes Branca e Colorida, indicando que ao final de 7 dias. Houve diferença entre os lotes dentro dos tratamentos, sendo que os resultados dos lotes 3 e 4 no parâmetro porcentagem de germinação tanto para a luz Branca quanto para a Colorida, foram superiores aos lotes 1 e 2. A primeira contagem, lotes 3 e 4, apresentaram médias de 98,5, indicando que a luz Colorida foi superior a Branca. O parâmetro primeira contagem relaciona o número de plântulas normais, assim, pode ser usado como uma maneira de avaliar o vigor das sementes, uma vez que estima o potencial das sementes em germinarem de maneira rápida e uniforme, bem como o desenvolvimento de plântulas normais (FRANZIN *et al.*, 2004).

Em relação ao IVG, o tratamento com luzes coloridas apresentou diferença significativa para os lotes 1 e 2, que já haviam apresentado porcentagem de germinação menor. Portanto, para o tratamento com luz colorida observou-se resultados superiores, quando comparado ao tratamento com luz Branca, para os testes que avaliam o vigor de sementes, ou seja, primeira contagem e IVG, principalmente para os lotes 1 e 2. Resultado semelhante foi observado por Petro *et al.*, 2020, onde observaram que sementes de alface submetidas à luz LED branca apresentaram piores médias de primeira contagem e porcentagem de germinação, quando comparados as luzes vermelha, vermelha + azul e azul.

Esses resultados indicam que a luz vermelha, utilizada nos primeiros dias de semeadura, promove a protrusão radicular antes das sementes submetidas à luz LED branca. Isso porque a germinação das sementes depende diretamente do balanço hormonal entre a giberelina (GA) e o ácido abscísico (ABA) (OLSZEWSKI; SUN; GUBLER, 2002), sendo a síntese, em pequenas ou grandes quantidades de giberelina, dependente da baixa quantidade de ABA nas sementes. Enquanto a GA promove a quebra da dormência e germinação pela ruptura da testa, o ABA mantém a dormência de sementes (FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006). A qualidade de luz provoca mudanças na relação GA/ABA, envolvidos no processo de fotorreversibilidade, onde o fotorreceptor fitocromo B (phyB) encontra-se ativo (P_{fr}) ao receber estímulos luminosos no vermelho - R, ou inativo (P_r), ao receber estímulos luminosos no vermelho distante (SEO *et al.*, 2006).

Tabela 3 - Germinação (%), índice de velocidade de germinação (IVG) e primeira contagem de sementes de alface cv. Verônica, lotes 1, 2, 3 e 4 produzidas sob dois tipos de iluminação (Branca e Colorida).

Germinação (%)		
Luzes		
Lotes	Branca	Colorida
1	86 Ba	85,5 Ba
2	83 Ba	84 Ba
3	98 Aa	99 Aa
4	97 Aa	99 Aa
CV (%)	3,47	
Primeira Contagem		
Luzes		
Lotes	Branca	Colorida
1	82,5 ABa	83,5 Ba
2	78 Ba	83 Ba
3	90 Ab	98,5 Aa
4	89 Ab	98,5 Aa
CV (%)	4,48	
IVG		
Luzes		
Lotes	Branca	Colorida
1	16 Bb	22 Ba
2	15 Bb	21 Ba
3	22 Ab	24 Aa
4	23 Aa	24 Aa
CV (%)	1,77	

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna e minúsculas na linha se diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Autora (2021).

Em sementes de *Arabidopsis* o P_r , inativo pelo acúmulo de luz vermelho distante, modula os níveis de GA/ABA estimulando a transcrição das proteínas DELLA (genes RGA e GAI) (BAE; CHOI, 2008), sendo esse grupo de proteínas regulador negativo da GA (TYLER *et al.*, 2004). As proteínas DELLA impedem a degradação da proteína PIL5, que ao acumular no metabolismo reprime a germinação (OH *et al.*, 2007).

Analisando ainda a Tabela 3, a primeira contagem, observa-se médias superiores para os lotes 3 e 4 quando submetidos ao tratamento com luzes coloridas (98,5) em relação a branca (90 e 89, respectivamente). Isso indica uma possível relação da luz colorida e a protrusão radicular rápida apenas em lotes de maior qualidade, mas a luz colorida não se mostrou eficiente para lotes com baixa qualidade, uma vez que não houve diferença entre luz Branca e Colorida (Lote 1 - 82,5 e 83,5 e Lote 2 - 78 e 83). Portanto, a luz colorida não pode ser usada como uma técnica promotora da qualidade fisiológica. Resultados semelhantes foram observados em sementes de melão e ervilha, onde foi constatado que a luz vermelha não aumentou

significativamente a porcentagem de germinação, mas favoreceu a germinação precoce das sementes (SOLANO *et al.*, 2021).

Observa-se na Tabela 4 os resultados de comprimento da raiz primária, comprimento da parte aérea, razão parte aérea/raiz e o tamanho total de plântulas em centímetros, obtidos pelo GroundEye, utilizando a média geral de todos os lotes estudados. Para todos os parâmetros avaliados, o tratamento com luz colorida (vermelho + azul) mostrou-se superior a branca, indicando que a luz colorida favoreceu o crescimento de plântulas, bem como a germinação e IVG. Lin *et al.* (2013) avaliou plântulas de alface sob crescimento de luz artificial e concluiu que os pesos fresco e seco da parte aérea e da raiz, bem como a crocância, doçura e forma das plantas tratadas com luz VAB (vermelha, azul e branca) e FL (fluorescente) foram maiores do que as das plantas tratadas com VA (vermelha e azul).

Tabela 4 - Média geral do comprimento da raiz primária, parte aérea, razão parte aérea/raiz e tamanho total em centímetros, avaliadas pelo GroundEye. Avaliação ao sétimo dia após a semeadura, submetidas aos tratamentos com luz branca e colorida.

Parâmetros	Branca	Colorida
Raiz primária	1.31 B	2.35 A
Parte aérea	1.24 B	1.20 A
Parte aérea/raiz	1.10 B	2.57 A
Tamanho total	2.56 B	3.55 A
CV (%)	21,40	

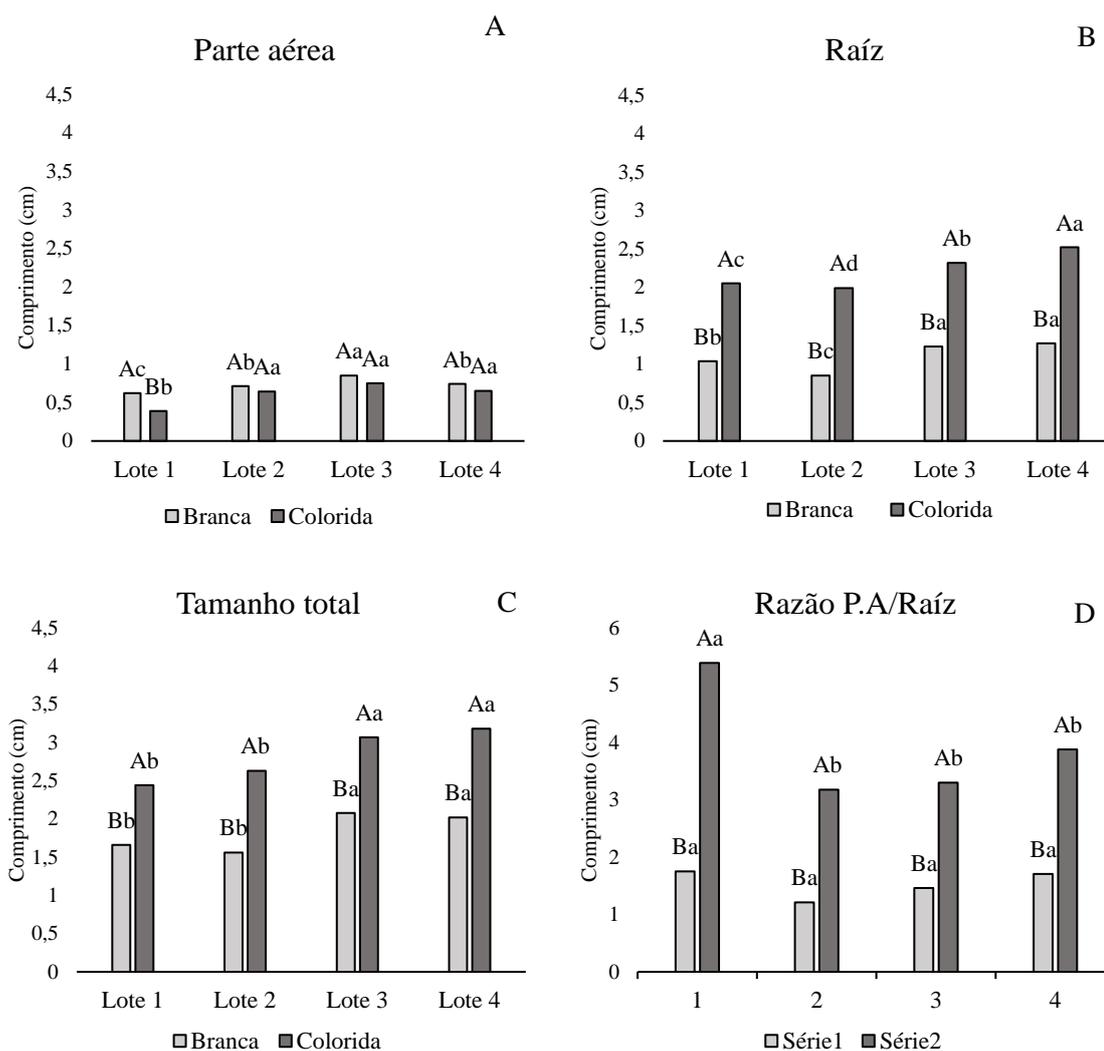
Médias seguidas da mesma letra na linha não se diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Autora (2021).

A aparência das plântulas não esteve em avaliação no presente estudo, porém há relatos de que a luz monocromática vermelha promove o alongamento da planta e redução da biomassa (HOENECKE; BULA; TIBBITTS, 1992). Por isso, a luz branca complementar pode ser uma alternativa viável no crescimento de plântulas sob ambiente de luz controlada, pois aumenta a expansão foliar e produção de biomassa (HOGEWONING *et al.*, 2010; JOHKAN *et al.*, 2012; LI; XU; TANG, 2010).

Na Figura 1 estão apresentados os comprimentos da parte aérea, raiz, tamanho total e razão parte aérea e raiz das plântulas avaliadas pela análise de imagem. Houve diferenças em comprimento de plântulas de alface retiradas da B.O.D ao quarto dia após a semeadura, dos lotes 1, 2, 3 e 4, submetidas as luzes Branca e Colorida. Para a variável (A) parte aérea, houve diferença estatística significativa entre luzes apenas para o lote 1, para esse lote a utilização da

luz branca apresentou maior comprimento de parte aérea. Já para a raiz, tamanho total e razão PA/Raiz, houve um padrão nos resultados, indicando que para todos os lotes avaliados a luz colorida apresentou médias de comprimento maiores que o tratamento com a luz branca.

Figura 1 - Comprimento (cm) de parte aérea (A), raiz (B), Tamanho total (C) e Razão Parte aérea/Raiz (D) obtidos pela análise de imagens de plântulas de quatro lotes de sementes de alface com 4 dias de germinação e submetidas a duas condições de luz, branca e colorida.



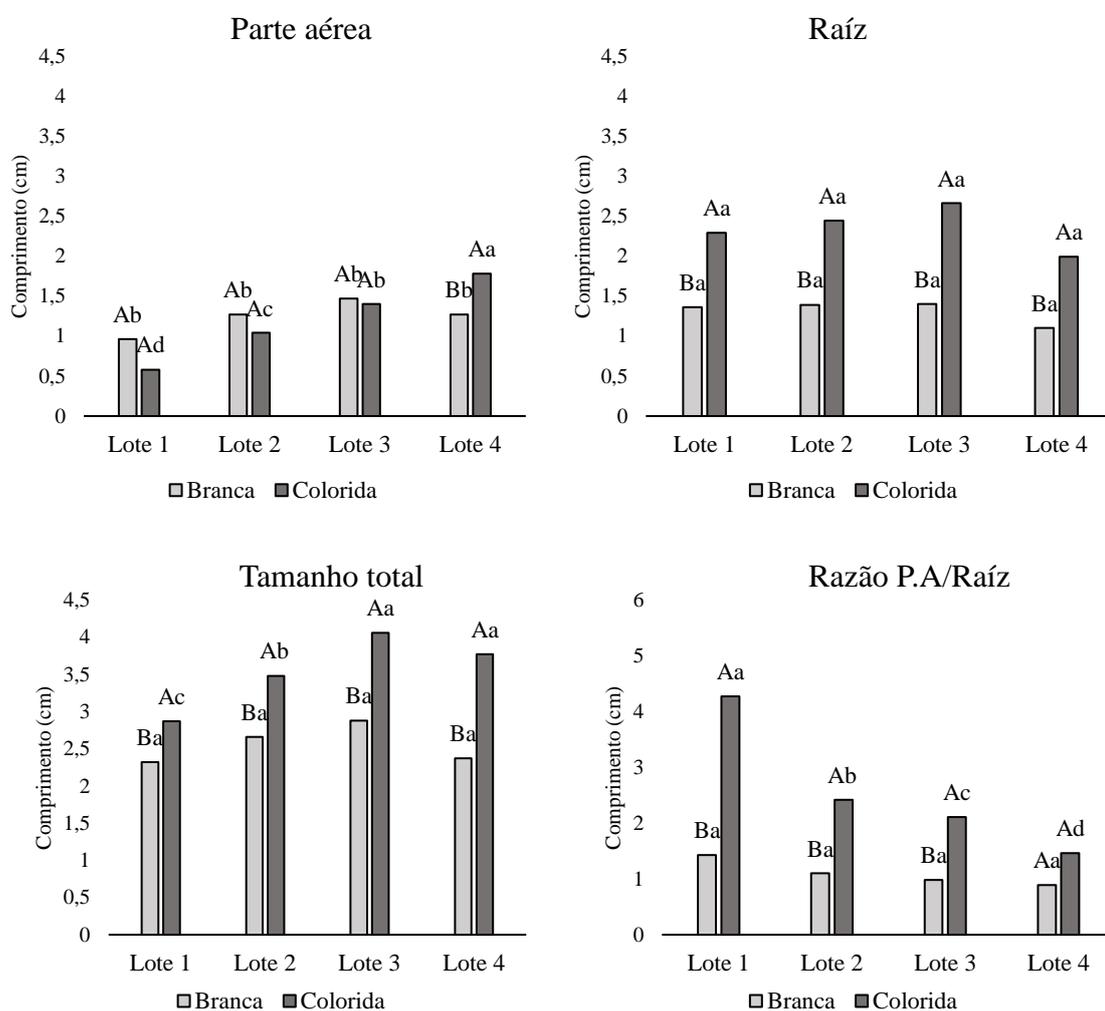
Médias seguidas por uma mesma letra, maiúscula entre condições de luz (dentro de cada lote) e minúscula entre lotes, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autora (2021).

O aumento no crescimento de plântulas sob luzes coloridas é observado em pesquisas com diversas espécies, como *Mentha lentifolia*, lentilha, manjeriço (SABZALIAN, 2014) e brócolis (PANIAGUA-PARDO *et al.*, 2015). A combinação de luz vermelha e azul também se mostrou vantajosa na proporção de 70/30% de luz LED vermelho-azul em plantas de menta,

aumentando em quatro vezes o rendimento do óleo essencial, a fotossíntese da planta e o peso fresco em comparação com as condições de campo (SABZALIAN *et al.*, 2014).

Ao sétimo dia após a semeadura, as plântulas foram novamente avaliadas quanto ao comprimento da parte aérea, raiz, tamanho total, razão parte aérea/raiz (FIGURA 2).

Figura 2 - Comprimento (cm) de parte aérea (A), raiz (B), tamanho total (C) e razão parte aérea/raiz (D) obtidos pela análise de imagens de plântulas de quatro lotes de sementes de alface com 7 dias de germinação e submetidas a duas condições de luz, branca e colorida.



Médias seguidas por uma mesma letra, maiúscula entre condições de luz (dentro de cada lote) e minúscula entre lotes, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autora (2021).

Assim como ao quarto dia, a luz colorida apresentou comprimentos de raiz, tamanho total e razão parte aérea/raiz superiores em comparação à luz branca, exceto para o comprimento da parte aérea. Médias superiores em tamanho total de plântula corroboram com os resultados apresentados por Paniagua-Pardo *et al.* (2015). Os autores indicam que a luz

vermelha + azul influenciam no comprimento do hipocótilo de plântulas de alface e brócolis, em 33% e 42%, respectivamente. Bem como a exposição intermitente à luz LED nas cores vermelha e azul pode promover intencionalmente o crescimento de plantas de alface (CHEN; YANG, 2018).

Apesar do vermelho e azul serem os espectros fundamentais na fotossíntese e consequentemente crescimento das plantas, a combinação de luzes vermelha e azul com suplementação de luz verde aumentaram a massa de raiz e promoveu uma melhor atividade do sistema antioxidante de plantas de alface, expostas à luz contínua por 48 horas (BIAN *et al.*, 2018). Esse resultado indica que o uso apenas do vermelho e azul, apesar de apresentarem bons resultados, não é o melhor cenário para produção de plantas sob ambiente de luz controlada. São necessários estudos com a complementação da luz branca e verde para demais espécies, intensidades e quantidades de luz.

A segunda parte do experimento consistiu em avaliar a porcentagem de germinação, IVG, padrões eletroforéticos das enzimas SOD, CAT e POX e quantificação por espectrofotômetro de microplacas das enzimas SOD, CAT e APX, em sementes e plântulas de alface pertencentes ao lote que apresentou os melhores resultados de crescimento e germinação observados anteriormente (lote 4), com acréscimo do tratamento B (luz fluorescente branca).

Os resultados da germinação (%) e IVG para os tratamentos A (luz LED branca), B (luz fluorescente branca) e C (luz LED colorida) podem ser visualizados na Tabela 5. Não houve diferença estatística pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, para nenhum dos parâmetros avaliados, indicando que diferentes qualidades de luzes não apresentam diferenças em lotes que já possuem alta germinação e vigor. Também é possível afirmar que tanto as luzes fluorescentes quanto as luzes LED em B.O.D não apresentam diferença para os testes de porcentagem de germinação e IVG, sendo possível utilizar qualquer uma das tecnologias acopladas às B.O.Ds.

No entanto, estudos feitos com plantas de alface sob tratamento com luzes LED vermelha e azul em comparação com a fluorescente indicaram que a taxa de fotossíntese da alface é maior na luz vermelha monocromática e na luz mista (Vermelha – V + Azul – A) em comparação com a fluorescente. Além disso, o comprimento do caule aumentou na luz monocromática vermelha e azul e diminuiu na luz mista (V+A) e fluorescente (SHIMIZU *et al.*, 2011).

Tabela 5 - Resultados de germinação (%) e índice de velocidade de germinação (IVG) para o lote 4 de sementes de alface da variedade Verônica, submetidas aos tratamentos A (luzes LED branca), B (luzes fluorescente branca) e C (luzes coloridas).

Germinação (%) e IVG		
Tratamento	Germinação	IVG
A	97,5 A	36,09 A
B	97,5 A	37,06 A
C	95 A	39,31 A
CV	2,53%	7,29%

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem quanto ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Autora (2021).

Não houve diferença estatística quanto à porcentagem de germinação e IVG para os tratamentos A, B e C (TABELA 5).

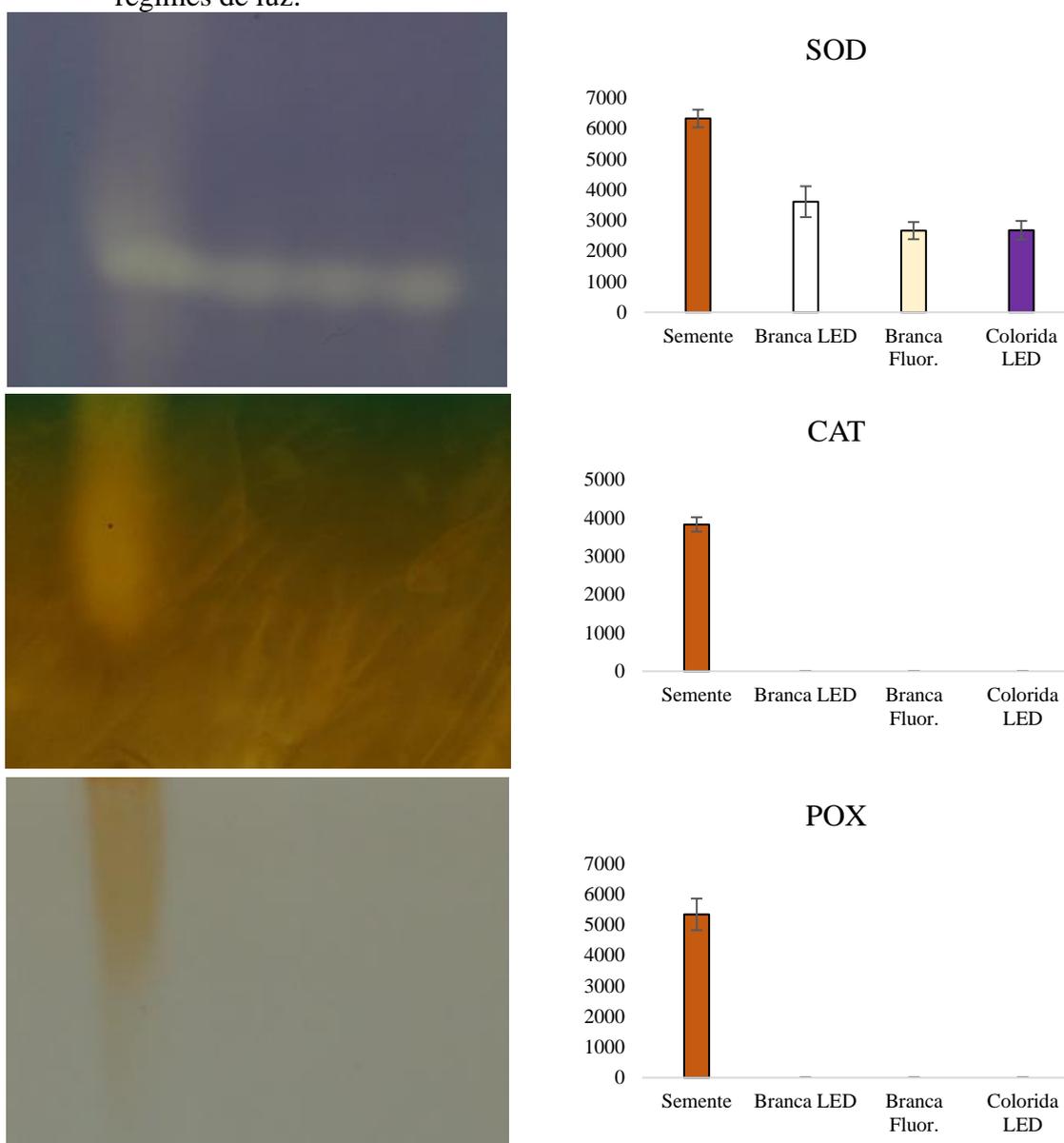
A Figura 3 contém a fotografia do gel de corrida dos padrões eletroforéticos das enzimas SOD, CAT e POX em sementes e plântulas de alface, sob os tratamentos de luz LED branca, luz fluorescente e luz LED colorida. O gráfico foi gerado com auxílio do software Image J, obtidos pela avaliação da quantidade de pixels presentes na fotografia dos géis. A enzima SOD, responsável pela dismutase do superóxido, se apresenta como a primeira linha de defesa das plantas contra as ERO, sendo assim, não foi possível observar diferença nas bandas para os tratamentos A, B e C. Para as sementes, a expressão foi maior para todas as enzimas avaliadas (SOD, CAD e POX). Uma hipótese levantada seria porque a semente macerada apresenta maior concentração em massa do que a plântula macerada. Ainda no gráfico da expressão enzimática da SOD (FIGURA 3), é possível observar que o nível de produção de ERO foi aproximadamente o mesmo para a luz LED branca, luz LED colorida e luz fluorescente. Esse resultado assemelha-se ao resultado obtido por FU *et al.* (2012), onde observou que não houve estresse nas plântulas submetidas às intensidades de luz 100, 200 e 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ para as enzimas SOD, CAT e POX. Porém, sob 600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ houve indícios de estresse especialmente pelo aumento das ERO e conteúdo de Malondialdeído (MDA). Sob 800 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, foi relatado alto índice de danos ao sistema antioxidante das células, causando acúmulo de EROs.

A luz é considerada um tipo de estresse nas plântulas, tanto na intensidade quanto na quantidade (em excesso). Em plantas, o fotossistema II (PSII) é vulnerável a ERO em todas as intensidades de luz, especialmente sob excesso de luz (MURATA *et al.*, 2007). Em condições de estresse por luz, ocorre um excesso de energia acumulado nas folhas, o que leva à geração de espécies reativas de oxigênio (CAKMAK; KIRKBY, 2008), e o dano foto-oxidativo causado

por elas é responsável pela clorose e peroxidação lipídica da membrana (SEVENGOR *et al.*, 2011).

Assim, a expressão nula da enzima CAT e POX para os tratamentos com luzes indicados no segundo e terceiro gráfico da Figura 3 mostram que, pelo tempo de 7 dias, não houve estresse luminoso suficiente para que houvesse expressão dessas duas enzimas da linha dessa defesa antioxidante, ou não houve expressão suficiente para ser detectada pela técnica de eletroforese. Esse resultado é similar ao de Haque *et al.* (2015) que relataram que a luz constante colorida por 12 dias não afetou a atividade de APX em folhas de tomateiro.

Figura 3 - Padrões eletroforéticos das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POX) em sementes e plântulas de alface submetidas a diferentes regimes de luz.



Fonte: Autora (2021).

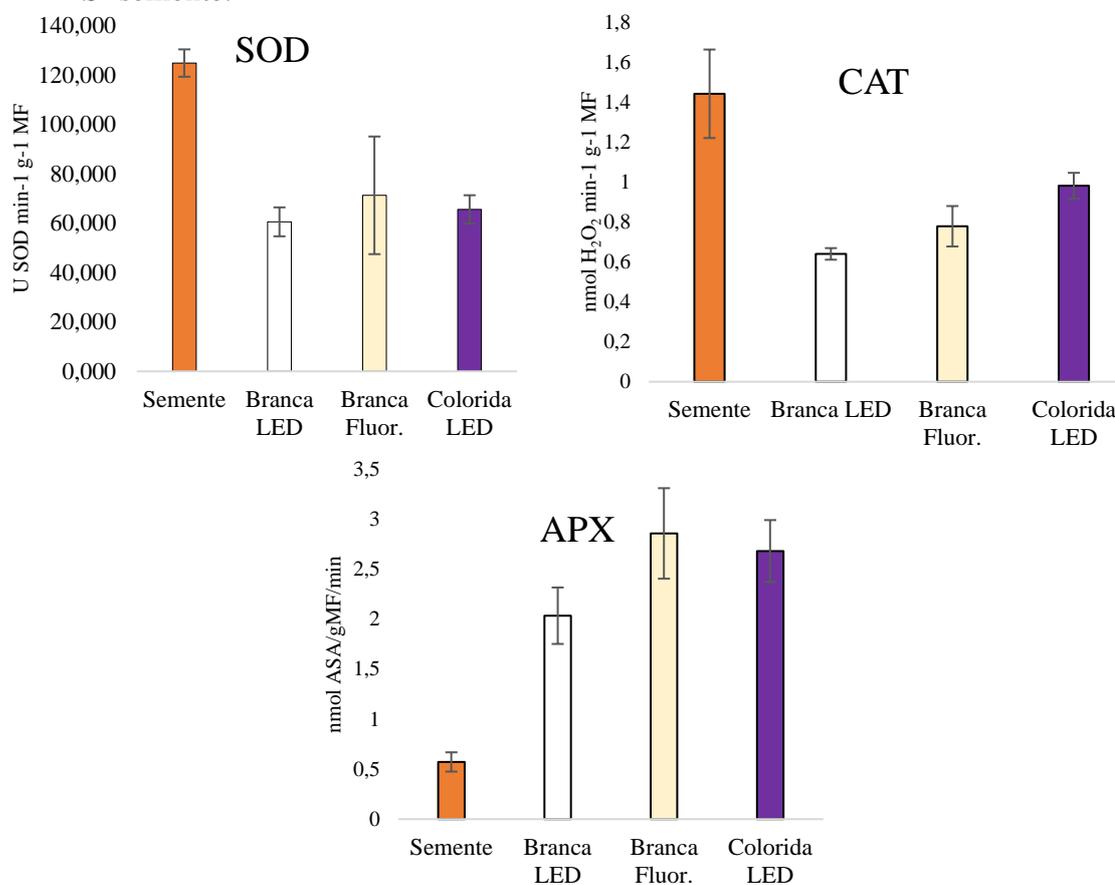
A luz constante é um meio viável de melhorar a produtividade de diversas espécies de plantas (VELEZ-RAMIREZ *et al.*, 2011). A quantidade total de luz que as plantas podem receber no período de 24 horas é chamado de DLI (*daily light integral*) ou luz diária integral, e esse valor é relativo a cada espécie. A luz constante pode aumentar excessivamente a DLI, ou seja, quando a energia luminosa absorvida pela planta excede sua própria capacidade de utilização. Esse acúmulo de energia luminosa é prejudicial para as plantas pois produzirá espécies reativas de oxigênio, pelo excesso de reações nos cloroplastos durante a fotossíntese (GOLAN; MÜLLER-MOULÉ; NIYOGI, 2006; HEYNEKE *et al.*, 2013).

Resultados da quantificação das enzimas SOD, CAT e APX pela espectrofotometria de microplacas, para semente e plântulas de alface submetidas aos tratamentos de luz LED branca, luz fluorescente e luz LED colorida estão apresentados na Figura 4. Como já mencionado anteriormente, no cloroplasto, o PSII é uma fonte de produção da espécies reativas de oxigênio, o superóxido. Ele causa danos ao cloroplasto promovendo a oxidação de lipídeos (FOYER; NOCTOR, 2009), e a SOD é a principal enzima que atua no combate dessa ERO. No presente trabalho, para a enzima SOD, não houve diferença significativa entre os tratamentos A, B e C, no entanto, a semente apresentou concentração superior. Essa diferença não significativa indica que nenhum dos tratamentos, na intensidade de luz aplicada (PAR), fotoperíodo de 12 horas, pelo período de 7 dias, superestressou as plântulas, ou seja, os tratamentos não excederam o DLI para alface ($12-14 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), caso contrário, a concentração da enzima ultrapassaria a concentração observada nas sementes.

Heyneke e colaboradores (2013), comprovaram que a alta intensidade de luz aumenta a produção de ERO, com isso, o estudo da quantificação enzimática é um indicador importante a fim de buscar a melhor combinação de luzes e intensidades para o crescimento de espécies vegetais.

Os resultados obtidos para a enzima CAT foram semelhantes aos da SOD. A função da enzima CAT nas células é a de proteger as células contra o peróxido de hidrogênio, catalisando a reação de decomposição do H_2O_2 em O_2 e água (NOCTOR; VELJOVIC-JOVANOVIC; FOYER, 2000). Era esperado que a quantificação da CAT apresentasse padrão de quantidade similar à SOD, uma vez que a CAT catalisa o subproduto da reação de dismutação da SOD, ou seja, o peróxido de hidrogênio. Porém, a enzima ascorbato peroxidase (APX) também atua no metabolismo antioxidante, catalisando a decomposição do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em água, só que utiliza o ascorbato como doador de elétrons. A diferença é que a APX tem maior afinidade com o peróxido de hidrogênio do que a CAT (SHARMA *et al.*, 2012).

Figura 4 - Quantificação das enzimas SOD, CAT e APX pelo espectrofotômetro de microplacas para os tratamentos A- Luz LED Branca, B- Luz Fluorescente, C- Luz LED Colorida, S- semente.



Fonte: Autora (2021).

Sendo assim, o resultado obtido para a enzima APX (FIGURA 4) revela que houve produção de peróxido de hidrogênio maior para os tratamentos do que para controle (semente) e ele foi decomposto em sua maioria pela APX. Em plântulas de alface, um estudo indicou aumento da enzima APX submetida à luz contínua de alta intensidade ($300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), assim como outras enzimas - MDA e o AsA (ascorbato) (ZHA *et al.*, 2020).

Estudos comprovaram que a intensidade da luz influencia a quantidade de ascorbato (AsA) (SMIRNOFF; PALLANCA, 1996). Foi observado que o conteúdo de ascorbato nas folhas aumenta à medida que a intensidade da irradiância também aumenta (BARTOLI *et al.*, 2006; DOWDLE *et al.*, 2007; FUKUNAGA; FUJIKAWA; ESAKA, 2010). O ascorbato é fundamental na reação de desintoxicação dos peróxidos, através da doação de elétrons, sendo a substância antioxidante não enzimática de maior importância nas células vegetais (GILL; TUTEJA, 2010), atuando fortemente na proteção contra a luz. Portanto, a expressão dessas enzimas é um importante indicador de estresse, mas a forma de atuação dessas enzimas é extremamente complexa. Assim, resultados tanto positivos quanto negativos são relevantes

para o entendimento da atuação delas nas rotas metabólicas das plantas (ALSCHER; ERTURK; HEATH, 2002).

A expressão das três enzimas avaliadas no presente estudo, portanto, corroboram com estudos citados acima que a luz é uma fonte de estresse, porém, em alta quantidade (tempo) e intensidades, que foi o contrário do apresentado por esses resultados. Como não houve expressão para CAT nem para POX nos géis de eletroforese, é possível afirmar que a quantidade observada pela técnica de espectrofotometria de microplacas foi muito próxima a zero (unidade utilizada: nmol).

Por fim, o uso de luzes LED com espectro controlado é uma técnica viável para o crescimento de plântulas, favorecendo a rápida germinação e aumento do tamanho total de plântulas em comparação com a luz LED branca, causando o mínimo de estresse oxidativo nas células.

4 CONCLUSÕES

Conclui-se com o presente trabalho que a luz LED vermelha favorece a velocidade da protrusão radicular em sementes de alface.

A combinação de luzes LED vermelha e azul estimula o crescimento inicial de plântulas, indicando que espectros luminosos nessa faixa podem ser usados para produção de mudas.

As luzes LED vermelha e azul não provocam estresse oxidativo em plântulas, pelo período de 7 dias, com fotoperíodo de 12 horas.

REFERÊNCIAS

- ALFENAS, A. (2006). Eletroforese e marcadores bioquímicos em plantas e microrganismos. 2ª edição. UFV, 627p, il.
- ALSCHER, R. G.; ERTURK, N.; HEATH, L. S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 372, p. 1331-1341, 2002.
- BAE, G.; CHOI, G. Decoding of light signals by plant phytochromes and their interacting proteins. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 281-311, 2008.
- BARTOLI, C. G. *et al.* Inter-relationships between light and respiration in the control of ascorbic acid synthesis and accumulation in *Arabidopsis thaliana* leaves. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 8, p. 1621-1631, 2006.
- BIAN, Z. *et al.* Effect of green light on nitrate reduction and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.) under short-term continuous light from red and blue light-emitting diodes. **Environmental and Experimental Botany**, v. 153, p. 63-71, 2018.
- BIEMELT, S.; KEETMAN, U.; ALBRECHT, G. Re-aeration following hypoxia or anoxia leads to activation of the antioxidative defense system in roots of wheat seedlings. **Plant Physiology**, v. 116, n. 2, p. 651-658, 1998.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNTA/DNDV/CLAV. p.395, 2009.
- CAKMAK, I.; KIRKBY, E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. **Physiologia Plantarum**, v. 133, n. 4, p. 692-704, 2008.
- CHEN, X. L.; YANG, Q. C. Effects of intermittent light exposure with red and blue light emitting diodes on growth and carbohydrate accumulation of lettuce. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 220-226, 2018.
- DOWDLE, J. *et al.* Two genes in *Arabidopsis thaliana* encoding GDP-L-galactose phosphorylase are required for ascorbate biosynthesis and seedling viability. **The Plant Journal**, v. 52, n. 4, p. 673-689, 2007.
- FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. 2000.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças** 3 ed. Viçosa, MG: UFV, p.418, 2013.
- FINCH-SAVAGE, W. E.; LEUBNER-METZGER, Gerhard. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, v. 171, n. 3, p. 501-523, 2006.
- FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox regulation in photosynthetic organisms: signaling, acclimation, and practical implications. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 11, n. 4, p. 861-905, 2009.

FRANZIN, S. M. *et al.* Métodos para avaliação do potencial fisiológico de sementes de alface. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, p. 63-69, 2004.

FUKUNAGA, K.; FUJIKAWA, Y.; ESAKA, M. Light regulation of ascorbic acid biosynthesis in rice via light responsive cis-elements in genes encoding ascorbic acid biosynthetic enzymes. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v. 74, n. 4, p. 888-891, 2010.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.

GOLAN, T.; MÜLLER-MOULÉ, P.; NIYOGI, K. K. Photoprotection mutants of *Arabidopsis thaliana* acclimate to high light by increasing photosynthesis and specific antioxidants. **Plant, Cell & Environment**, v. 29, n. 5, p. 879-887, 2006.

HAQUE, M. S. *et al.* Continuous light increases growth, daily carbon gain, antioxidants, and alters carbohydrate metabolism in a cultivated and a wild tomato species. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 522, 2015.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, v. 84, n. 2, p. 450-455, 1987.

HEYNEKE, E. *et al.* Dynamic compartment specific changes in glutathione and ascorbate levels in *Arabidopsis* plants exposed to different light intensities. **BMC Plant Biology**, v. 13, n. 1, p. 1-19, 2013.

HOENECKE, M. E.; BULA, R. J.; TIBBITTS, T. W. Importance of Blue Photon Levels for Lettuce Seedlings Grown under Red-light-emitting Diodes. **HortScience**, v. 27, n. 5, p. 427-430, 1992.

HOGEWONING, S. W. *et al.* Light distribution in leaf chambers and its consequences for photosynthesis measurements. **Photosynthetica**, v. 48, n. 2, p. 219-226, 2010.

JOHKAN, M. *et al.* Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 75, p. 128-133, 2012.

LI, H.; XU, Z.; TANG, C. Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plantlets in vitro. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 103, n. 2, p. 155-163, 2010.

LIN, K. H. *et al.* The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). **Scientia Horticulturae**, v. 150, p. 86-91, 2013.

MAGUIRRE, J. D. Speeds of germination aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, p.176-177, 1962.

MORROW, R. C. LED lighting in horticulture. **HortScience**, Virginia, v.43, n.7, p.1947-1950, 2008.

MURATA, N. *et al.* Photoinhibition of photosystem II under environmental stress. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v. 1767, n. 6, p. 414-421, 2007.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981.

NOCTOR, G.; VELJOVIC-JOVANOVIC, S.; FOYER, C. H. Peroxide processing in photosynthesis: antioxidant coupling and redox signalling. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 355, n. 1402, p. 1465-1475, 2000.

OH, E. *et al.* PIL5, a phytochrome-interacting bHLH protein, regulates gibberellin responsiveness by binding directly to the GAI and RGA promoters in Arabidopsis seeds. **The Plant Cell**, v. 19, n. 4, p. 1192-1208, 2007.

OLSZEWSKI, N.; SUN, T. P.; GUBLER, Frank. Gibberellin signaling: biosynthesis, catabolism, and response pathways. **The Plant Cell**, v. 14, n. suppl_1, p. S61-S80, 2002.

PANIAGUA-PARDO, G. *et al.* Efecto de la luz led de alta intensidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* L.). **Polibotánica**, n. 40, p. 199-212, 2015.

RASBAND, W. S. ImageJ 1.50 i. **US National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA. URL: <https://imagej.nih.gov/ij>**, 2016.

SABZALIAN, M. R. *et al.* High performance of vegetables, flowers, and medicinal plants in a red-blue LED incubator for indoor plant production. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 4, p. 879-886, 2014.

SHARMA, P. *et al.* Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, v. 2012, 2012.

SEO, M. *et al.* Regulation of hormone metabolism in Arabidopsis seeds: phytochrome regulation of abscisic acid metabolism and abscisic acid regulation of gibberellin metabolism. **The Plant Journal**, v. 48, n. 3, p. 354-366, 2006.

SEVENGOR, S. *et al.* The effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidative enzymes of pumpkin seedling. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 21, p. 4920-4924, 2011.

SHIMIZU, H. *et al.* Light environment optimization for lettuce growth in plant factory. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 44, n. 1, p. 605-609, 2011.

SMIRNOFF, N.; PALLANCA, J. E. Ascorbate metabolism in relation to oxidative stress. **Biochemical Society Transactions**, v. 24, n. 2, p. 472-478, 1996.

SOLANO, C. J. *et al.* **Book Chapter** A LED-Based Smart Experimental Chamber to Promote Germination and Growth of Pea and Melon Plants: Effect on the Antioxidative Metabolism. 2021.

TYLER, L. *et al.* DELLA proteins and gibberellin-regulated seed germination and floral development in Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 135, n. 2, p. 1008-1019, 2004.

VELEZ-RAMIREZ, A. I. *et al.* Plants under continuous light. **Trends in Plant Science**, v. 16, n. 6, p. 310-318, 2011.

YANG, Y.; PEI, Q. Efficient blue-green and white light-emitting electrochemical cells based on poly [9, 9-bis (3, 6-dioxaheptyl)-fluorene-2, 7-diyl]. **Journal of Applied Physics**, v. 81, n. 7, p. 3294-3298, 1997.

ZHA, L. *et al.* Regulation of ascorbate accumulation and metabolism in lettuce by the red: blue ratio of continuous light using LEDs. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 704, 2020.