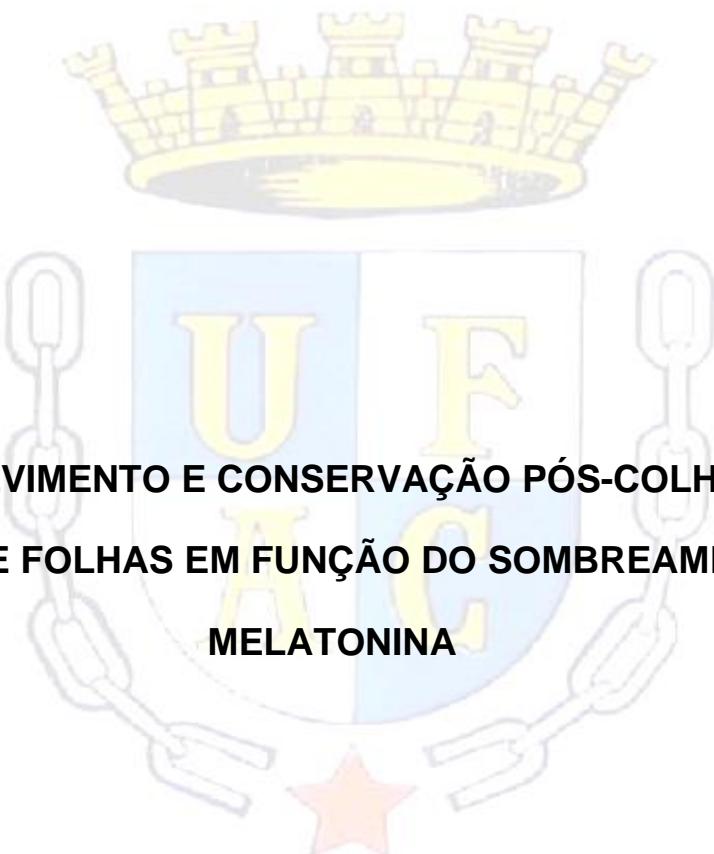


CAMILA FREIRE CRAVEIRO



**DESENVOLVIMENTO E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DA
COUVE DE FOLHAS EM FUNÇÃO DO SOMBREAMENTO E
MELATONINA**

RIO BRANCO - AC

2025

CAMILA FREIRE CRAVEIRO

**DESENVOLVIMENTO E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DA
COUVE DE FOLHAS EM FUNÇÃO DO SOMBREAMENTO E
MELATONINA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza da Universidade Federal do Acre como parte das exigências para a obtenção do título de doutora em Produção Vegetal.

Orientadora: Dra. Regina Lúcia Félix Ferreira.

RIO BRANCO - AC
2025

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

C898d Craveiro, Camila Freire, 1994 -

Desenvolvimento e conservação pós-colheita da couve de folhas em função do sombreamento e melatonina / Camila Freire Craveiro; orientadora: Profa. Dra. Regina Lúcia Félix Ferreira. – 2025.

94 f. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal. Rio Branco, 2025.
Inclui referências bibliográficas e apêndices.

1. Couve. 2. Melatonina. 3. Envelhecimento. I. Ferreira, Regina Lúcia Félix (orientadora). II. Título.

CDD: 338.1

CAMILA FREIRE CRAVEIRO

DESENVOLVIMENTO E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DA COUVE DE FOLHAS EM FUNÇÃO DO SOMBREAMENTO E MELATONINA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre como parte das exigências para a obtenção do título de doutora em Produção Vegetal.

Aprovada em 21 de fevereiro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente

 REGINA LUCIA FELIX FERREIRA
Data: 07/04/2025 22:22:14-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Dra. Regina Lúcia Félix Ferreira (Presidente)
Universidade Federal do Acre - UFAC

Documento assinado digitalmente

 GERMANO GÜTTLER
Data: 07/03/2025 11:53:34-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Dr. Germano Güttler (Membro)
Universidade Estadual de Santa Catarina - UDESC

Documento assinado digitalmente

 MARCIO CHAVES DA SILVA
Data: 02/03/2025 01:54:16-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Dr. Márcio Chaves da Silva (Membro)
Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR)

Documento assinado digitalmente

 SANDRA BEZERRA DA SILVA
Data: 01/03/2025 18:50:35-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Dra. Sandra Bezerra da Silva (Membro)
Secretaria Municipal de Agricultura

Documento assinado digitalmente

 BARBARA BARBOSA MOTA
Data: 06/03/2025 23:19:31-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Dra. Bárbara Barbosa Mota

AGRADECIMENTOS

“Consagre ao senhor tudo que você faz e os seus planos serão bem sucedidos”

Provérbios 16:3

Ao senhor Deus, que em sua infinita misericórdia, sempre me protege, me guia e me mostra o caminho certo, eu agradeço.

À minha família, por toda confiança e compreensão em cada espera.

Aos meus pais, Antônio Augusto Martins Freire e Francisca das Chagas Ferreira da Silva, agradeço por todo o amor incondicional que me manteve em pé para continuar quando pensei em desistir. Vocês me deram a vida e sacrificaram a vida de vocês para que eu pudesse crescer em um lar repleto de amor e carinho. Aos meus avós Ceci Ferreira da Silva, José Francisco da Silva (*in memoriam*), Raimundo Martins Freire (*in memoriam*) e Josina Rodrigues Freire (*in memoriam*) minha profunda gratidão pelas histórias, sabedoria e amor incondicional que iluminam meu caminho e me inspiram em vida.

Ao meu irmão, Daniel Augusto Ferreira Martins Freire, meu amor por você é tão forte que eu queria ter mais de um coração pra te amar, meu caçula.

Ao meu esposo, Iury Craveiro, eu amo você desde o primeiro dia. Obrigada pela parceria que formamos em vida e pelo amor que cultivamos a cada dia. Obrigada pela sua paciência e compreensão e por me acompanhar fielmente em cada ida à universidade.

Aos meus amigos da graduação e da pós-graduação, Bárbara Barbosa, Ryan Feitosa, Márcia Chaves, Márcio Chaves, Núbia Bravin, Yara Furtado, Wendrio Sales, Joaes Alves, Fernanda Viana, Romaína Araújo e Rafael Pereira obrigada pela ajuda na execução dos trabalhos, pelas descontrações no dia a dia, pelo momento agradável de almoço no restaurante universitário e pela valiosa amizade. Que vocês alcancem o sucesso e estabilidade de vida que tanto almejam.

À minha amiga e orientadora Profa. Dra. Regina Lúcia Félix Ferreira, que sorte a minha você ter me aceitado e me adotado como uma de suas “filhas científicas”. Obrigado por ter me apresentado à olericultura, seus ensinamentos e aprendizados me fizeram confiantes em minha jornada acadêmica.

Agradeço a Universidade Federal do Acre e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal pela oportunidade de crescimento profissional, à Capes pela concessão da bolsa para eu me dedicar exclusivamente aos estudos e pesquisa.

*“And if you never bleed, you’re
never grow. And it’s alright now”.*

Taylor Alison Swift

RESUMO

A couve é uma hortaliça de amplo cultivo e distribuição no Brasil, reconhecida por seu elevado valor nutricional, como a alta concentração de vitaminas, minerais essenciais e compostos bioativos com propriedades antioxidantes. O trabalho realizado com couve de folhas resultou em 4 capítulos, sendo uma revisão de literatura e os demais divididos em etapas experimentais do cultivo da espécie. Todos os experimentos foram realizados na horta experimental da Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, no período de Janeiro de 2024 a Junho de 2024. O experimento I (capítulo II) teve como objetivo avaliar o desenvolvimento da couve de folhas cultivada em ambiente sombreado na presença e ausência de melatonina. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 5 x 2, com 5 repetições. Os fatores corresponderam à níveis sombreamento (pleno sol; 20%; 35%; 50% e 65%) e a ausência e presença de melatonina. Foram avaliados: comprimento e largura foliar, diâmetro do coleto, altura da planta, número total de folhas, massa seca e fresca foliar e massa seca da raiz. O sombreamento em níveis de 50% e 65%, aliado à presença de melatonina promovem maior desenvolvimento e biomassa da couve de folhas. O experimento 2 (capítulo III) teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de melatonina na preservação dos pigmentos fotossintéticos sob níveis de sombreamento em couve de folhas. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2, com 5 repetições e os fatores foram semelhantes ao experimento 1. Foram avaliados os teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides. A aplicação de melatonina aumenta os teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides em plantas sob sombreamento, nos níveis de 50% e 65%. O experimento 3 (capítulo IV) teve como objetivo avaliar a conservação da vida útil da couve de folhas sob aplicação de melatonina. A avaliação pós-colheita foi realizada na Unidade de Tecnologia de Alimentos (UTAL) localizados na Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 2. Os fatores corresponderam à quatro doses de melatonina (controle, 50, 100 e 150 µM) e dois tempos de avaliação pós-colheita (0 e 5 dias). Foram avaliadas: acidez titulável, teor de vitamina C, sólidos solúveis, clorofila *a*, *b*, clorofila total e carotenoides. A aplicação de melatonina, nas doses 100 e 150 µM, promove a preservação da qualidade pós-colheita da couve de folhas.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *acephala*; fitomelatonina, senescência; estresses

ABSTRACT

Kale is a nutrient-rich vegetable that is widely grown in Brazil, with a high content of vitamins, minerals and antioxidant compounds. Shading screens can reduce thermal and light stress, optimizing crop growth in adverse climates. Melatonin complements these effects, improving development and extending post-harvest shelf life. The work carried out with leafy cabbage resulted in 4 chapters, the first of which is a literature review and the others are divided into experimental stages of growing the species. All the experiments were carried out in the experimental garden of the Federal University of Acre, Rio Branco, Acre, from January 2024 to June 2024. Experiment I (chapter II) was to evaluate the growth of leaf cabbage grown in a shaded environment in the presence and absence of melatonin. The experimental design used was completely randomized (DIC) in a 5 x 2 factorial scheme. The factors corresponded to shading levels (full sun; 20%; 35%; 50% and 65%) and the absence and presence of melatonin. The following were assessed: leaf length and width, collar diameter, plant height, total number of leaves, leaf dry and fresh mass and root dry mass. Shading at levels of 50% and 65%, combined with the presence of melatonin, promoted greater development and biomass of the leaf cabbage. Experiment 2 (Chapter III) evaluated the effects of melatonin application at different shading levels on the preservation of photosynthetic pigments. The design was entirely randomized in a 5 x 2 factorial scheme, and the factors were similar to experiment 1. The chlorophyll *a*, *b* and carotenoid contents were assessed. The application of melatonin increased the levels of chlorophyll *a*, *b* and carotenoids in plants under 50% and 65% shade. Experiment 3 (Chapter IV) aimed to evaluate the preservation of the shelf life of leafy cabbage through the application of melatonin treatments. The post-harvest evaluation was carried out at the Food Technology Unit (UTAL) located at the Federal University of Acre, in Rio Branco, Acre. The experimental design used was entirely randomized, in a 4 x 2 factorial scheme. The factors corresponded to four doses of melatonin (control, 50, 100 and 150 µM) and two post-harvest evaluation times (0 and 5 days). Titratable acidity, vitamin C content, soluble solids, chlorophyll *a*, *b* and carotenoids were evaluated. The results of this study revealed that the application of melatonin, especially at the higher doses (100 and 150 µM), was effective in preserving the post-harvest quality of leafy cabbage.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *acephala*; phytomelatonin; senescence; stress.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Altura da planta (A), comprimento foliar (C), largura foliar (D) e diâmetro do coletor (B) sob níveis de sombreamento na presença e ausência de melatonina em couve de folhas. Rio Branco, AC, 2024.	41
Figura 2 - Massa fresca (A) e seca de folhas (B), massa seca de raiz (C) e número total de folhas (D) sob níveis de sombreamento na presença e ausência de melatonina em couve de folhas. Rio Branco, AC, 2024.....	44
Figura 3 - Teor de clorofila a (A), b (B) e carotenoides (C) em couve folha na presença e ausência de melatonina sob níveis de sombreamento. Rio Branco, AC, 2024.....	58
Figura 4 - Teores de acidez titulável (A), sólidos solúveis (B) e vitamina C (C) em folhas de couve submetidas a doses de melatonina para conservação pós-colheita de 0-5 dias. Rio Branco, AC, 2024.....	77
Figura 5 - Teores de clorofila a (A), clorofila b (B), carotenoides (C) e clorofila total (D) em folhas de couve submetidas a doses de melatonina para conservação pós-colheita de 0-5 dias. Rio Branco, AC, 2024.....	79
Figura 6 - Análise de correlação entre as variáveis de resposta estudadas para folhas de couve armazenadas durante 0-5 pós-colheita sob doses de melatonina. Rio Branco, AC, 2024.....	80

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Resumo da análise de variância para comprimento foliar (COM), largura foliar (LAR), diâmetro do coleto (DC), altura da planta (AP), número total de folhas (NFT), massa seca e fresca de folhas (MFF e MSF) e massa seca da raiz (MSR) em couve de folhas submetidas a níveis de sombreamento e melatonina. Rio Branco, AC, 2024.....	89
APÊNDICE B - Resumo da análise de variância para clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b) e carotenoides (CAR) em couve de folhas submetidas a níveis de sombreamento e melatonina. Rio Branco, AC, 2024.....	89
APÊNDICE C - Resumo da análise de variância para acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), vitamina C (VIT C), clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b), carotenoides (CAR), clorofila total (Chl T) em couve folha pós-colheita submetidas a doses de melatonina durante 0-5 dias. Rio Branco, AC, 2024.....	90
APÊNDICE D - Acidez titulável (AT), vitamina C (Vit C), sólidos solúveis (SS), clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b), carotenoides (CAR), clorofila total (Chl T) em couve folha pós-colheita submetidas a doses de melatonina durante 0-5 dias. Rio Branco, AC, 2024.....	90
APÊNDICE E - (A) Vias de biossíntese de melatonina; (B) Localizações subcelulares de melatonina. TDC: triptofano descarboxilase; TPH: triptofano hidroxilase; T5H: triptamina 5-hidroxilase; SNAT: serotonina N-acetiltransferase; COMT: ácido cafeico O-metiltransferase; ASMT: N-acetilserotonina metiltransferase.....	91
APÊNDICE F - Casas de Casas de vegetação com sombreamento nos níveis de 50%, 65%, 35% e 20%. Horta experimental, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre.....	91
APÊNDICE G - Preparo da solução com melatonina (A); Aplicação do tratamento (B); Melatonina utilizada no experimento (C) na horta da Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre.....	92
APÊNDICE H - Produção de mudas de couve folha em bandeja (A); copo (B); vaso (C) na horta da Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre....	92

LISTA DE ABREVIATURAS

ABA	Ácido absíscico
AIA	Ácido indolacético
AP	Altura da planta
APX	Ascorbato
ASMT	N- acetilserotonina o-metiltransferase
AT	Acidez titulável
ATP	Adenosina trifosfato
CAT	Catalase
CF	Comprimento foliar
CLO_A	Clorofila <i>a</i>
CLO_B	Clorofila <i>b</i>
CLO_TOTAL	Clorofila total
Comt	Ácido cafeico o-metiltransferase
DC	Diâmetro do coleto
FMA	Fungos micorrízicos arbusculares
GR	Glutationa redutase
IRGA	Aparelho analisador de gás infravermelho
LF	Largura foliar
MEL	Melatonina
MFF	Massa fresca foliar
MRF	Massa seca da raiz
MSF	Massa seca foliar
NADPH	Nicotinamida adenina dinucleotideo fosfato
NAS	N- acetilseronina
NFT	Número de folhas totais
PAR	Radiação fotossinteticamente ativa
RE	Retículo endoplasmático
ROS	Espécies reativas de oxigênio
SNAT	N - acetiltransferase
SOD	Superóxido dismutase
TDC	Triptofano descarboxilase
TSH	Triptamina s-hidroxilase
VIT C	Vitamina C

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
1 CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA.....	15
1.1 DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE.....	16
1.2 IMPORTÂNCIA NUTRICIONAL DA COUVE DE FOLHAS.....	17
1.3 MELATONINA EM PLANTAS: OCORRÊNCIA E BIOSSÍNTESE.....	18
1.4 FUNÇÕES FISIOLÓGICAS DA MELATONINA EM PLANTAS.....	19
1.5 MELATONINA NA PRESERVAÇÃO PÓS-COLHEITA.....	21
1.6 INTERAÇÃO ENTRE LUMINOSIDADE E TELAS DE SOMBREAMENTO.....	23
REFERÊNCIAS.....	26
CAPÍTULO II: CRESCIMENTO DA COUVE DE FOLHAS SOB NÍVEIS DE SOMBREAMENTO E MELATONINA.....	33
1 INTRODUÇÃO.....	36
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4 CONCLUSÕES.....	47
REFERÊNCIAS.....	48
CAPÍTULO III: MELATONINA E NÍVEIS DE SOMBREAMENTO NA PROTEÇÃO DOS PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS NA COUVE DE FOLHAS.....	51
1 INTRODUÇÃO.....	54
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	56
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
4 CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS.....	64
CAPÍTULO IV: MELATONINA NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DA COUVE DE FOLHAS.....	68
1 INTRODUÇÃO.....	71
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	73
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
3.1 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO MÚLTIPLA.....	80
4 CONCLUSÕES.....	83
REFERÊNCIAS.....	84
APÊNDICES.....	89

INTRODUÇÃO

A couve de folhas (*Brassica oleracea* var. *acephala*) é uma hortaliça amplamente cultivada no Brasil, destacando-se por seu valor nutricional, com fácil adaptação a diferentes condições ambientais e importância socioeconômica. Rica em vitaminas (como A, C e K), minerais (cálcio, ferro e magnésio) e compostos biotivos (glucosinolatos e flavonoides), a couve de folhas é reconhecida por suas propriedades antioxidantas, anti-inflamatórias e anticancerígenas, sendo um alimento funcional de grande relevância para a saúde humana (Trani *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2017).

No entanto, o cultivo dessa espécie enfrenta desafios, especialmente relacionados a fatores ambientais, como a intensidade luminosa e altas temperaturas, que podem influenciar diretamente seu desenvolvimento e produtividade (Filgueira, 2008; Sediyyama *et al.*, 2014; Lv *et al.*, 2020). A radiação solar, em particular, é um dos fatores mais críticos para o crescimento das plantas, pois regula processos fisiológicos essenciais, como a fotossíntese, a síntese de pigmentos (clorofila e carotenoides) e a produção de biomassa (Sato *et al.*, 2024). Tanto o excesso quanto a escassez de luminosidade podem comprometer o desempenho das plantas, levando a alterações morfológicas, redução na taxa fotossintética e aumento do estresse oxidativo (Taiz *et al.*, 2017; Muhammad *et al.*, 2021).

Nesse contexto, estratégias de manejo destinadas a atenuar os impactos adversos das condições ambientais têm sido amplamente investigadas. Entre essas abordagens, o uso de telas de sombreamento destaca-se como uma técnica eficiente para modular a intensidade luminosa, reduzir a temperatura foliar e mitigar o estresse oxidativo em plantas expostas tanto a elevada quanto a baixa radiação solar (Songserm *et al.*, 2024; Shahak, 2008).

O emprego de bioestimulantes, como a melatonina, tem ganhado destaque na agricultura moderna pois desempenha funções antioxidantas, reguladoras do crescimento e protetoras contra estresses bióticos e abióticos (Arnao; Hernandez, 2022). Estudos atuais demonstram que a aplicação exógena de melatonina promovem a tolerância das plantas a condições adversas, como seca, salinidade e excesso de luz, além do crescimento vegetativo e a síntese de pigmentos fotossintéticos (Zhang *et al.*, 2020; Fan *et al.*, 2022; Arnao; Hernandez, 2019).

Além dos desafios durante o cultivo da espécie, a qualidade pós-colheita da couve de folhas representa um aspecto determinante para sua comercialização e longevidade no mercado, sendo influenciada por diversos fatores fisiológicos e ambientais. A perda de água, a degradação de pigmentos, o amarelecimento foliar e a senescência acelerada são processos que comprometem a integridade do produto, reduzindo sua aceitação pelos consumidores e, consequentemente, seu valor comercial (Kader, 2002). Esses fenômenos, além de impactarem a estética e a qualidade nutricional das folhas, reforçam a necessidade de estratégias de manejo pós-colheita que minimizem tais alterações e prolonguem a vida útil do produto.

Logo, a melatonina tem demonstrado ser uma molécula promissora na preservação pós-colheita de hortaliças, atuando na redução da taxa de senescência, manutenção da integridade dos tecidos vegetais e preservação dos compostos bioativos como vitaminas e ácidos orgânicos (Liu *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2020). Entretanto, para eficiente utilização desta prática de pós-colheita são necessárias observações específicas, que incluem o comportamento de dosagem específica em cada cultura.

Diante dessas considerações, este estudo objetivou avaliar a interação entre o uso de telas de sombreamento e a aplicação de tratamentos com melatonina no crescimento vegetativo e na preservação pós-colheita da couve.

CAPÍTULO I

REVISÃO DE LITERATURA

1 REVISÃO DE LITERATURA

Considerada uma das hortaliças folhosas mais populares no Brasil, a couve de folhas (*Brassica oleracea* var. *acephala*) destaca-se não só pelo sabor, qualidade e textura, mas também por suas propriedades nutricionais e benefícios à saúde (Vilar *et al.*, 2008). A aplicação exógena de melatonina, um bioestimulante conhecido por suas propriedades antioxidantes e reguladoras de crescimento, tem se mostrado promissora no desenvolvimento e pós-colheita de plantas. Durante o cultivo, a melatonina ajuda a proteger a planta contra estresses bióticos e abióticos, melhorando a resistência da couve em diferentes condições ambientais (Meng *et al.*, 2015; Dai *et al.*, 2020; Tijero *et al.*, 2019).

O uso de telas de sombreamento no cultivo da couve de folhas tem ganhado destaque, pois auxiliam na proteção contra radiação solar excessiva, ventos fortes e variações bruscas de temperatura, fatores que podem comprometer o crescimento e a qualidade das folhas (Umesh *et al.*, 2023). Assim, a revisão aborda os aspectos botânicos e nutricionais da couve de folhas, as funções da melatonina em plantas e os benefícios das telas de sombreamento na proteção de alta e baixa luminosidade, com foco na otimização do cultivo e na qualidade pós-colheita.

1.1 DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE

A couve de folhas (*Brassica oleracea* var. *acephala*) é originária do leste do Mediterrâneo e da Ásia Menor, tendo como ancestral a couve silvestre (Balkaya & Yanmaz, 2005). Introduzida no Brasil durante o período colonial, a couve adaptou-se bem às condições climáticas do país, tornando-se um componente essencial da dieta brasileira (Madeira *et al.*, 2008).

A espécie tem seu pleno desenvolvimento em temperaturas amenas (16-22°C), mas apresenta tolerância ao calor, permitindo o cultivo durante todo o ano (Filgueira, 2008). Seu ciclo é anual ou bienal, de porte arbustivo, e caule ereto, podendo atingir 40-120 cm de altura. A emissão de suas novas folhas é continua, as quais apresentam pecíolo longo, limbo e nervuras bem desenvolvidas, filotaxia rosulada ao redor do seu caule e coloração verde-clara (Filgueira, 2008). A espécie apresenta uma grande variedade de cultivares, sendo a do tipo manteiga bem aceita comercialmente nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás (Novo *et al.*, 2010).

A propagação pode ser feita por sementes ou mudas, sendo esta última a preferida pelos agricultores brasileiros devido à rapidez e eficiência (Filgueira, 2008). No Acre, por exemplo, a propagação por brotos é comum, garantindo a manutenção de cultivares tradicionais e um crescimento mais rápido. O espaçamento em plantios comerciais da couve é recomendado de acordo com o tipo de solo, a declividade do terreno, o manejo da cultura e o porte da cultivar de couve, sendo normalmente de 50 cm a 70 cm entre plantas e de 80 a 100 cm entrelinhas. Atualmente, é crescente a área plantada de couve sob cultivo protegido em estufas, sendo possível a rotação de couve com hortaliças de outras espécies e a diminuição de pragas que causam prejuízos consideráveis para a couve (Filgueira, 2008).

A colheita das folhas deve ser realizada a cada 7-10 dias sendo retiradas as folhas bem desenvolvidas e com qualidade comercial (20-30 cm de comprimento). Durante as operações de colheita, o produtor deve realizar a desbrota das folhas velhas e brotos que surgem nas axilas das folhas, para favorecer a formação de novas folhas e impedir os “ladrões” de nutrientes (Filgueira, 2008).

No estado do Acre é comum a colheita ter início no quarto ou sexto mês após o transplantio das mudas. A colheita das folhas é feita em maços com oito a doze folhas, com 15 cm de comprimento. Os maços são mantidos em água, para não murcharem, até a comercialização. É frequente a comercialização em maços diretamente nas hortas, principalmente urbanas e periurbana.

1.2 IMPORTÂNCIA NUTRICIONAL DA COUVE DE FOLHAS

A família *Brassicaceae* é considerada economicamente importante para o uso como forragens, óleos, hortaliças, plantas ornamentais e medicinais (Griffiths *et al.*, 1998). O consumo de vegetais, particularmente a couve, tem sido associado ao seu grande potencial anticancerígeno, devido à presença de glucosinolatos¹ (GLSs). Estudos demonstram que o consumo regular de couve pode suprir mais de 100% da ingestão diária recomendada de vitamina A e 40% de vitamina C (Vilar *et al.*, 2008).

¹ Glucosinolatos são metabólitos secundários encontrados em vegetais crucíferos como couve, brócolis e repolho. Quando as células vegetais são danificadas, os glucosinolatos se transformam em compostos ativos, como isotiocianatos e indóis, possuindo propriedades抗癌erígenas e anti-inflamatórias.

Diante da importância nutricional atribuída à couve de folhas, a busca por estudos de suas propriedades nutricionais é fundamental. Samec *et al.* (2019), destacaram que as folhas de couve fornecem mais de 100% da ingestão diária recomendada de vitamina A e 40% de vitamina C.

Sikora e Bodziarczyk (2012) afirmam que a couve é uma hortaliça com elevado valor nutricional e potente atividade antioxidante. Suas folhas para que mantenham essas características, devem ser consumidas cruas. O cozimento prolongado pode reduzir significativamente o teor de nutrientes, especialmente vitamina C e compostos fenólicos, comprometendo sua capacidade antioxidante (Sikora & Bodziarczyk, 2012).

As folhas de couve são ricas em compostos com potencial atividade antioxidante, como vitaminas, carotenoides, clorofilas, compostos fenólicos, flavonoides e glicosídeos. Segundo Luengo *et al.* (2018), a couve apresenta grande concentração destes compostos, sendo recomendado o seu consumo regularmente para uma saúde preventiva.

1.3 MELATONINA EM PLANTAS: OCORRÊNCIA E BIOSSINTESE

A melatonina (N-acetyl-5-metoxitriptamina) é uma molécula pleiotrópica que exerce diversos efeitos nos organismos vivos. Originalmente encontrada na glândula pineal bovina em 1958, tornou-se uma das moléculas biológicas mais estudadas em animais, devido às suas funções biológicas na regulação do ritmo circadiano, sono, humor, reprodução sazonal e sistema imunológico (Lerner *et al.*, 1958).

Em 1995, a melatonina (MEL) foi descoberta em plantas, onde atua como uma molécula multirreguladora devido à sua ampla gama de ações nos sistemas vegetais (Dubbels, 1995). Suas funções incluem a atuação como bioestimulante diante de estresses bióticos e abióticos, regulação do crescimento vegetal e modulação de processos ligados ao desenvolvimento vegetativo, tais como enraizamento, senescênciia foliar, eficiência fotossintética e produção de biomassa (Arnao; Hernandez Ruiz, 2009; Chen *et al.*, 2009; Hernandez Ruiz; Cano; Arnao, 2004; Kang *et al.*, 2009; Tijero *et al.*, 2019; Daí *et al.*, 2020). Além disso, a melatonina melhora a tolerância à contaminação de águas residuais por fontes industriais e agrícolas (Menhas *et al.*, 2021), e pode regular os processos de

floração, formação e amadurecimento de frutos e sementes (Li *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2014).

A melatonina apresenta uma maior facilidade de atravessar os compartimentos intracelulares, atuando sobre espécies reativas de oxigênio (ROS). Além disso, também é caracterizada como uma molécula solúvel em água e lipídeos, agindo como antioxidante hidrofílico e hidrofóbico (Janas *et al.*, 2013). Essas características tornam a melatonina um forte candidato para melhorar a produção de culturas hortícolas, garantindo a segurança alimentar.

Trinta anos após sua descoberta em mamíferos, Murch *et al.* (2000) desafiou a ideia de que melatonina é um hormônio exclusivo de animais, demonstrando que as plantas podem sintetizar melatonina por meio de quatro vias biossintéticas análogas à dos animais. Ambas as vias partem do L-triptofano (Trp), que é descarboxilado em triptamina (Trm) numa reação catalisada pela triptofano descarboxilase (TDC) na via I (APÊNDICE E); a triptamina é então convertida em 5-hidroxitriptamina (serotoninina) na presença de triptamina 5-hidroxilase (T5H), sendo esta a principal via biossintética da serotoninina². A T5H é convertida em MEL via N-acetilserotoninina (NAS) através de uma acetilação por N-acetyltransferase de serotoninina (SNAT), seguido por uma reação catalisada por N-acetylserotoninina-Ometiltransferase (ASMT).

A ordem das reações enzimáticas nas vias biossintéticas da melatonina altera os sítios subcelulares de sua formação (APÊNDICE E). Nas vias I e II, a síntese de serotoninina ocorre no retículo endoplasmático (RE), enquanto as vias III e IV resultam na produção citoplasmática de serotoninina. Ou seja, a síntese de melatonina ocorre nos cloroplastos quando a enzima da etapa final é SNAT, enquanto ASMT/COMT estão envolvidas na reação de produção no citoplasma (Kang *et al.*, 2009).

1.4 FUNÇÕES FISIOLÓGICAS DA MELATONINA EM PLANTAS

A melatonina foi introduzida na indústria hortícola através da sua aplicação como bioestimulante e no desenvolvimento de plantas. Embora alguns ensaios ainda estejam em fase de pesquisa laboratorial, a aplicação de melatonina em culturas hortícolas já apresenta grande potencial de uso.

² Nas vias de biossíntese III-IV o triptofano é primeiro convertido em 5-hidroxitriptofano e depois em serotoninina pelo TDC.

Sabe-se que a má qualidade das sementes ou as condições desfavoráveis de semeadura podem dificultar o processo de germinação e o estabelecimento da cultura. A melatonina pode atuar na regulação da germinação de sementes, otimizando o percentual de germinação e diminuindo as perdas em produtividade (Lamichhane *et al.*, 2018). Sob estresse de ácido abscísico (ABA), a melatonina promoveu uma melhor taxa de germinação de sementes de melão (*Cucumis melo L.*), aumentando o teor de GA₃ e reduzindo o teor de ABA³ (Li *et al.*, 2021).

O tratamento com melatonina pode aumentar a taxa de sucesso do enraizamento e proporcionar novas possibilidades de propagação clonal. Semelhante ao ácido indolacético (AIA), a melatonina tem sido utilizada para regular o crescimento radicular. Chen *et al.* (2009) afirmam que a aplicação de 0,1 µM de melatonina demonstrou efeito estimulante sobre o crescimento radicular de raízes de mostarda (*Brassica juncea*), enquanto o tratamento com 100 µM apresentou efeito inibitório.

A pulverização de melatonina, ocasiona efeitos relacionados ao incremento do sistema radicular melhorando a eficiência da absorção de água e nutrientes favorecendo o crescimento das plantas. Hasnain *et al.* (2023) verificaram que sob estresse hídrico plantas de *Brassica napa* cujas folhas foram pulverizadas com 100, 150 e 200 µM de melatonina apresentaram melhoria significativa com maior crescimento, teor de pigmentos fotossintéticos, açúcares solúveis totais e proteínas solúveis totais.

A floração em culturas hortícolas tem uma influência muito importante no tempo de colheita e no rendimento final. O florescimento pode ser inibido por altas temperaturas, resultando no aborto de pólen. Em tomates (*Solanum lycopersicum*), a aplicação de 20 µM de melatonina inibiu o aborto de pólen induzido por altas temperaturas (Qi *et al.*, 2018).

A aplicação de melatonina pode melhorar o rendimento e qualidade final de frutos e hortaliças. Em ensaios de campo, o tratamento com 431 µM de melatonina resultou em frutos de uva 6,6% mais pesados do que os frutos com tratamento controle (Meng *et al.*, 2015). Liu *et al.* (2016), avaliando a aplicação exógena de melatonina em tomate por irrigação das raízes e embebição de sementes, concluiu que a melatonina aumentou em 13% o rendimento dos frutos quando aplicada nas sementes.

Em condições de estresse abiótico, como alta luminosidade, calor e seca a melatonina pode desempenhar um papel significativo no aumento da fotossíntese. A

³ A melatonina tem efeitos contrastantes na germinação de sementes sob estresse e condições normais, provavelmente pela interação entre ela e outros hormônios vegetais em diferentes condições ambientais.

melatonina aumenta a síntese e proteção de degradação da clorofila, o que é crucial para a melhoria da absorção de luz e eficiência fotossintética (Yang *et al.*, 2022). Além disso, a melatonina pode ativar enzimas antioxidantes que auxiliam na redução de espécies reativas de oxigênio (ROS) que são prejudicais ao processo de fotossíntese durante o estresse (Bo *et al.*, 2024).

Para aumentar a vida útil dos produtos hortícolas, o armazenamento a frio é frequentemente usado. No entanto, quando frutas e verduras são expostas a baixas temperaturas, os danos ocasionados pelo frio podem levar a sérias perdas de qualidade e diminuir o valor de mercado (Lauxmann *et al.*, 2014). Kong *et al.* (2020) afirmam que o tratamento com 100 µM em pimentão verde (*Capsicum annuum*) reduziu os danos pelo frio ao ativar o sistema de defesa antioxidante e reduzir a peroxidação lipídica da membrana induzida pelo frio durante o armazenamento.

A utilização de melatonina pode proporcionar incremento na proteção e controle de doenças em plantas, atuando como um agente antimicrobiano com propriedades antifúngicas, antibacterianas e antivirais. Mandal *et al.* (2018) observaram que o tratamento com melatonina reduziu significativamente a intensidade da esporulação e o diâmetro da lesão causada pela podridão de frutos após a inoculação com *Phytophthora capsici* em pepinos. A aplicação de 100 µM de melatonina também aumentou a resistência do pepino ao míldio, melhorando sua capacidade antioxidante e o metabolismo de nitrogênio (Pelagio *et al.*, 2012).

Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) constituem um grupo de microrganismos benéficos do solo que, geralmente, formam simbioses na região da rizosfera, fornecendo a planta hospedeira água e nutrientes (Aguileira *et al.*, 2013). Segundo Ahmed *et al.* (2020), o tratamento com melatonina em 100 µM aumentou a taxa de colonização de FMA em plantas de pepino, além de ter aumentado a resistência ao fungo *Fusarium*.

A autofagia, um sistema de degradação intracelular que fornece proteínas e organelas aos lisossomos, participa de vários processos biológicos das plantas, como a manutenção do meristema da raiz, germinação do pólen, estabelecimento de mudas e senescência (Qi *et al.*, 2021). Estudos recentes com plantas de tomate pré-tratadas com 10 µM de melatonina apresentaram maiores níveis de genes relacionados à autofagia em comparação com plantas selvagens sob estresse térmico.

Diante dos benefícios apresentados, a melatonina desporta como uma ferramenta promissora na agricultura moderna. Além disso, a aplicação de melatonina no manejo de culturas hortícolas pode contribuir significativamente para a sustentabilidade agrícola, ao

reduzir a necessidade de insumos químicos e minimizar as perdas pós-colheita. Portanto, a integração da melatonina nas práticas agrícolas não só promete otimizar a produtividade, mas também promover a segurança alimentar e a preservação ambiental, abrindo novas fronteiras para a pesquisa e desenvolvimento de soluções inovadoras na horticultura.

1.5 MELATONINA NA PRESERVAÇÃO PÓS-COLHEITA

Hortaliças cuja folha é a parte comestível, apresentam preferência pelo consumidor final quando se encontram recém colhidas, verdes e sem sinais de injúrias. No entanto, devido ao alto metabolismo, as hortaliças folhosas como a couve, possuem elevada perecibilidade, obtendo curto período de vida útil. Com isso, torna-se necessária a busca por produtos que possam atuar sobre a preservação da qualidade pós-colheita.

A melatonina é considerada uma alternativa aos produtos químicos usados comercialmente no manejo pós-colheita de produtos frescos, como frutas e verduras (Mansouri *et al.*, 2021; Miao *et al.*, 2020). A melatonina utilizada na preservação da qualidade pós-colheita de frutas e verduras está sendo estudada em profundidade, pois os seus diferentes efeitos dependem da espécie. Xu *et al.* (2019) relataram que a melatonina controla o amadurecimento das frutas e legumes através da regulação da biossíntese de etileno, fornecendo evidências de que a melatonina está envolvida no processo de maturação.

O manejo e armazenamento inadequados pós-colheita podem resultar em uma diminuição da qualidade e vida útil de prateleira das culturas hortícolas, o que pode levar a rejeição pelos consumidores, com concomitantes perdas econômicas (Aghdam *et al.*, 2020). Li *et al.* (2019) observaram que o tratamento exógeno com melatonina pode retardar a senescência e a deterioração em frutos de bananeira causadas pela antracnose (*Colletotrichum musae*), devido ao desencadeamento da sinalização de etileno, auxina e ROS.

A degradação pós-colheita da clorofila é uma preocupação para a manutenção da qualidade pós-colheita. A melatonina é capaz de mitigar a degradação dos pigmentos fotossintéticos durante o armazenamento, aumentando assim a vida útil dos produtos em prateleira (Ahamad *et al.*, 2024). Em brócolis o efeito do tratamento de 100 µM de melatonina foi responsável por reduzir a degradação da clorofila e manter a estrutura dos cloroplastos intactas durante 4 dias de armazenamento (Wu *et al.*, 2021).

A senescência foliar quando retardada pode desempenhar um papel altamente eficaz na preservação da qualidade das culturas hortícolas e no prolongamento de sua vida útil (Park *et al.*, 2021). Tan *et al.* (2019) relatam que o tratamento do repolho (*Brassica napa*) com melatonina pode suprimir a biossíntese de ABA, bem como a degradação da clorofila e retardo da senescência foliar.

Nos últimos anos, o uso de revestimentos seguros para armazenamento de culturas hortícolas aumentou acentuadamente devido ao crescente interesse em embalagens ecológicas. Zhao *et al.* (2020) relataram que o uso de revestimento à base de quitosana 1,2%, carboximetilcelulose 0,8% e 50 mg/l de melatonina em pepino, melão e brócolis recém-cortados, apresentaram menor perda de peso e amarelecimento, maior relação sólidos solúveis totais e acidez titulável, juntamente com maior acúmulo de clorofila. Além disso, o atraso da senescência induzido por melatonina também pode disponibilizar maior teor de fenóis, flavonóides e ácido ascórbico (Tan *et al.*, 2012).

As culturas hortícolas também podem sofrer perdas significativas causadas por infecções de patógenos durante o armazenamento pós-colheita (Liu *et al.*, 2018). As espécies de fungos que frequentemente afetam as culturas hortícolas incluem os gêneros *Aspergillus*, *Botrytis*, *Fusarium*, *Penicillium* e *Monilinia*. Porém, há relatos de efeitos positivos do uso de melatonina no controle de patógenos em maçã (Sun *et al.*, 2021); tomate (Liu *et al.*, 2019); banana (Li *et al.*, 2019); lichia (Zhang *et al.*, 2021) e pistache (Jannatizadeh *et al.*, 2021).

1.6 INTERAÇÃO ENTRE LUMINOSIDADE E TELAS DE SOMBREAMENTOS

A qualidade fisiológica das hortaliças folhosas é favorecida quando as plantas são cultivadas em ambiente protegido, ou seja, quando são criadas condições ideais para seu desenvolvimento e crescimento (Andríolo, 2020; Hatamian *et al.*, 2015; Thakur *et al.*, 2019). A luz é um fator ambiental essencial que exerce influência direta sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas, atuando como fonte primária de energia para o processo fotossintético (Sharma *et al.*, 2020).

Níveis inadequados de luminosidade podem causar desequilíbrios na absorção de luz, portanto, a deficiência e o excesso de luz podem se tornar fatores de estresse, impactando negativamente o crescimento e o metabolismo das plantas (Yang *et al.*, 2022). Isso prejudica o aparelho fotossintético, especialmente o fotossistema II,

resultando em estiolamento e redução da produtividade (Binotti *et al.*, 2019; Raai *et al.*, 2020; Guerra *et al.*, 2017).

Em condições de elevada intensidade luminosa, diversos processos fisiológicos são prejudicados, incluindo a abertura estomática, trocas gasosas e a alocação de biomassa. Além disso, o excesso de luz pode levar à formação de espécies reativas de oxigênio (ROS), levando à fotoinibição, caracterizada pela perda de eficiência fotossintética. Esse fenômeno é caracterizado pela luz excessiva e a capacidade de utilização das plantas, resultando na degradação dos centros de reação do Fotossistema II (PSII) e na inibição da proteína D1 (Yavari *et al.*, 2021).

Já em ambientes com baixa luminosidade, a limitação energética reduz significativamente a taxa fotossintética. A redução de luz leva ao estiolamento das plantas, afetando a formação de biomassa e provocando modificações estruturais, como folhas mais finas, redução no diâmetro do caule, menor espessura foliar e desorganização das tecidos paliçádico e esponjoso. Essas mudanças resultaram em menor eficiência fotossintética e redução da fluorescência da clorofila (Zhang *et al.*, 2016; Fu *et al.*, 2017). Além disso, a transferência de elétrons entre o Fotossistema II (PSII) e o Fotossistema I (PSI) é reduzida, comprometendo o metabolismo do carbono, e aumentando o estresse oxidativo (Fu *et al.*, 2017).

As plantas desenvolveram estratégias para melhorar a resposta ao estresse oxidativo na fotossíntese, ajustando-se às variações de luz. Em baixa luminosidade, as folhas são maiores e mais finas, enquanto sob alta intensidade luminosa, as folhas são menores e mais espessas. O ajuste do ângulo foliar ajuda a evitar o estresse térmico, reduzindo o acúmulo de ROS, pelo fluxo cíclico de elétrons, dissipação de energia como calor ou fluorescência e mecanismos antioxidantes (Steen *et al.*, 2022).

A intensidade luminosa proporcionada pelo cultivo protegido auxilia nos ajustes do mecanismo fotossintético das plantas, atuando como fonte de energia para a fotossíntese, regulando a produção de ATP e NADPH, fixação de CO₂ e na síntese de fotoassimilados (Abade *et al.*, 2020). A utilização de telas de sombreamento pode proporcionar ajustes do mecanismo fotossintético das plantas, resultando na maior eficiência de absorção e transferência de energia às plantas (Abade *et al.*, 2020); além disso, são uma opção para amenizar os efeitos da chuva e altas temperaturas.

No mercado, existem diversos tipos de telas de sombreamento, como aluminizadas, coloridas e pretas, com variadas porcentagens de sombreamento. Telas preta, conhecidas como sombrite, são feitas de polietileno, e protegem as culturas da luz solar direta sem alterar sua qualidade. Elas previnem a exposição à luminosidade intensa, aumentando o crescimento da planta, e, em certas espécies, reduzindo os efeitos da fotorrespiração (Aimi *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2023; Vaz *et al.*, 2020).

A luminosidade é um dos aspectos que mais influenciam o cultivo de olerícolas, por meio da fotoestimulação, fototropismo e fotomorgênese (Larcher, 2006). As variações no fotoperíodo destas culturas podem alterar o período da colheita comercial da parte aérea; isso está diretamente relacionado na indução da produção de hormônios vegetais como as giberelinas, que atuam no florescimento e crescimento do caule (Taiz *et al.*, 2017).

Através da implementação das telas de níveis de sombreamento comumente utilizadas na cor preta e no nível de 50% de sombreamento, é possível criar um ambiente caracterizado pela moderação e controle, proporcionando a redução da intensidade luminosa e do calor (Dalastra *et al.*, 2016). Contudo, é válido destacar que para o cultivo de couve folha, a redução drástica da radiação solar (acima de 50%), podem diminuir o fluxo de luminosidade, ocasionando o prolongamento do ciclo, estiolamento das plantas e redução da produtividade (Abade *et al.*, 2019).

O uso de malhas coloridas (ou fotosseletivas) é uma tecnologia agrícola que é usada para a manipulação do espectro de luz favorecendo o desenvolvimento das culturas (Mahmood *et al.*, 2018). A composição deste material é polietileno de baixa densidade (PEBD) com variadas colorações (azul, vermelho, verde, aluminizadas, preto, amarelo, cinza); onde são combinadas proteção física e modificação dos espectros da luz disponível à planta, ajustando o metabolismo fotossintético (Vukovic *et al.*, 2022).

Daniel *et al.* (2022) investigaram o efeito de diferentes níveis de sombreamento (50% e 70%) sobre o rendimento de *Brassica rapa* e *Brassica oleracea*. Os resultados mostraram que o sombreamento 70% resultou em um aumento significativo no número de cabeças de repolho em comparação ao tratamento em pleno sol. Para Lagon *et al.* (2022) o sombreamento resultou em maior massa fresca e seca das folhas de *Brassica rapa* L. quando comparados ao cultivo a pleno sol.

REFERÊNCIAS

- ABADE, M. T. R.; HIRATA, A. C. S.; GOTO, R.; ALMEIDA, V. Morfometria de cultivares de rúcula sob telas de sombreamento e pleno sol na primavera. **Agrometeoros**, v. 27, n. 1, 2020.
- ABADE, M. T. R.; KLOSOWSKI, E. S.; ROCHA, M. E. L.; COUTINHO, P. W. R.; SOUZA, F. L. B. de; BARABASZ, R. F. Morfometria de cultivares de rúcula sob telas de sombreamento e pleno sol na primavera. **Agrometeoros**, v. 27, n.1, p.217-226, 2019.
- AGHDAM, M. S.; LUO, Z.; LI, L.; JANNATIZADEH, A.; FARD, J. R.; PIRZAD, F. Melatonin treatment maintains nutraceutical properties of pomegranate fruits during cold storage. **Food Chemistry**, v. 303, p. 125385, 2020.
- AGUILERA, P.; CORNEJO, P.; BORIE, F.; BAREA, J. M.; BAER, E.V.; OEHLL, F. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Triticum aestivum* L. plants growing in an Andosol with high aluminum level. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 186, p. 178-184, 2014.
- AHAMMED, G. J.; CHEN, S.; YU, J.; XIE, Y.; HUA, J.; YANG, Y.; YE, Q.; ZHENG, G.; ZHOU, Y. Role of melatonin in arbuscular mycorrhizal fungi-induced resistance to *fusarium* wilt in cucumber. **Phytopathology**, v. 110, n. 5, p. 999-1009, 2020.
- AIMI, S. C.; ARAUJO, M. M.; TONETTO, T.S.; TABALDI, L. A.; SALDANHA, C. W.; FARÍAS, J. G.; OLIVEIRA, G. G. Shading as a conditioning factor to forest species planting: a study with *Apuleia leiocarpa*. **Bosque**, v. 38, n. 2, p. 371-379, 2017.
- ANDRIOLI, J. L. **Olericultura geral**. Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciência-Editora UFSM, 2020.
- ARNAO, M. B.; CANO, A.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Fitomelatonina: uma molécula inesperada com desempenhos surpreendentes em plantas. **Journal of experimental botany**, v. 73, p.5779–5800, 2022.
- ARNAO, M. B.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Efeito protetor da melatonina contra a degradação da clorofila durante a senescência das folhas de cevada. **Revista de pesquisa pineal**, v. 1, p. 58-63, 2009.
- ARNAO, M. B.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Melatonin: A new plant hormone and/or a plant master regulator? **Trends in Plant Science**, v. 24, n. 1, p. 38-48, 2019.
- BALKAYA, A.; YANMAZ, R. Promising kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) populations from Black Sea region, Turkey. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 33, n. 1, p. 1-7, 2005.
- BO, Y.; XING, Y.; WANG, Y.; GU, W.; JIANG, X.; YU, J.; SHI, X.; LIU, C.; LIU, C.; ZHOU, Y. Exogenous Melatonin Modulates Photosynthesis and Antioxidant Systems for Improving Drought Tolerance of Sorghum Seedling. **Current Issues in Molecular Biology**, v.46, n.9, p. 9785–9806, 2024.

BINOTTI, E. D. C.; BINOTTI, F. F. S.; LUCHETI, B. Z.; COSTA, E.; PINTO, A. H. Níveis de sombreamento e regulador vegetal para formação de mudas compactas de *Schizolobium amazonicum*. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 5, p. 586-591, 2019.

CHEN, Q.; QI, W. B.; REITER, R. J.; WEI, W.; WANG, B. M. Exogenously applied melatonin stimulates root growth and raises indoleacetic acid levels in roots of etiolated *Brassica juncea* seedlings. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, n. 3, p. 324-328, 2009.

DAI, L.; LI, J.; HARMENS, H.; ZHENG, X.; ZHANG, C. Melatonin enhances drought resistance by regulating leaf stomatal behavior, root growth, and catalase activity in two contrasting genotypes of rapeseed (*Brassica napus* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 149, p. 86-95, 2020.

DALASTRA, G. M.; OLIVEIRA, C. A.; LIMA, A. Características produtivas de cultivares de alface mimosa, conduzida sob diferentes níveis de sombreamento, no inverno. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 15-19, 2016.

DANIEL, K.A; MUTI, S; MUINDI, E.M.; GOGO, E.T. Effects of Black Shade Net on Yield of *Brassica rapa* and *Brassica oleracea* Cabbages in Kilifi County. **Journal of Agriculture and Ecology Research International**, v. 23, n. 4, p. 12-21, 2022.

FAN, Y.; CANYING, L.; YIHAN, L.; RUI, H.; MI, G.; JIAJIN, L.; TONG, S.; YONGHONG, G. Postharvest melatonin dipping maintains quality of apples by mediating sucrose metabolism. **Plant Physiology**, v.174, p.43-50, 2022.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2008. 421 p.

FU, Y.; LI, H.; YU, J.; LIU, H.; CAO, Z.; MANUKOVSKY, N. S.; LIU, H. Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. Var. youmaicai). **Scientia Horticulturae**, v. 214, p. 51-57, 2017.

GRIFFITHS, D. W.; BIRCH, A. N. E.; HILLMAN, J. R. Antinutritional compounds in the Brassicaceae: analysis, biosynthesis, chemistry and dietary effects. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 73, n. 1, p. 1-18, 1998.

GUERRA, M.; OLIVEIRA, J. R.; COSTA, L. M. Atividade fotossintética e produtividade de alface cultivada sob sombreamento. 2017.

HASNAIN, Z.; ZAFAR, S.; USMAN, S.; ZHANG, L.; ELANSARY, H. O. Elucidating role of melatonin foliar spray in ameliorating adverse effects of drought stress on growth and physio-biochemical attributes of *Brassica rapa* plants. **Scientia Horticulturae**, v. 321, p. 112336, 2023.

HATAMIAN, M.; ARAB, M.; ROOZBAN, M. R. Stomatal behavior of two rose cultivars under different light intensities. **Journal of Agriculture Crops Production**, Merkez, v. 17, n. 1, p. 1-11, 2015.

HERNANDEZ-RUIZ, J.; CANO, A.; ARNAO, M. B. Melatonin: a growth-stimulating compound present in lupin tissues. **Planta**, v. 220, pág. 140-144, 2004.

JANAS, K.; POSMYK, M. Melatonin, an underestimated natural substance with great potential for agricultural application. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, p. 3285-3292, 2013.

KANG, K.; PARK, S.; KIM, Y. S.; SO, H. A.; KIM, M. J.; HEY, S. J.; PARK, C. M. Biosynthesis and biotechnological production of serotonin derivatives. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 83, p. 27-34, 2009.

KIM, Moo Jung; CHIU, Yu-Chun; KU, Kang-Mo. Glucosinolates, carotenoids, and vitamins E and K variation from selected kale and collard cultivars. **Journal of Food Quality**, v. 2017, n. 1, p. 5123572, 2017.

KONG, X. M.; GE, W. Y.; WEI, B. D.; ZHOU, Q.; ZHOU, X.; ZHAO, Y. B.; JI, S. J. Melatonin improves chilling injury in green bell peppers during storage by regulating membrane lipid metabolism and antioxidant capacity. **Postharvest Biology and Technology**, v. 170, p. 111315, 2020.

LAGON, M.V.A.; MAGPANTAY, V.A.; TUGIO, M. Effects of shade net on fresh and dry mass of *Brassica rapa* L. **International Journal of Agricultural Research**, v. 18, n. 2, p. 145-152, 2022.

LAMICHHANE, J. R.; DEBAEKE, P.; STEINBERG, C.; YOU, M. P.; BARBETTI, M. J.; AUBERTOT, J. N. Abiotic and biotic factors affecting crop seed germination and seedling emergence: a conceptual framework. **Plant and Soil**, v. 432, p. 1-28, 2018.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 550 p. 2006.

LAUXMANN, M.A.; BORSANI, J.; OSÓRIO, S.; LOMBARDO, V. A.; BUDDE, O. C.; BUSTAMANTE, C.A.; MONTI, L.L.; ANDREO, C.S.; FERNIE, A. R.; DRINCOVICH, M.F.; LARA, M. V. Deciphering the metabolic pathways influencing heat and cold responses during post-harvest physiology of peach fruit. **Plant, cell & environment**, v. 37, n. 3, p. 601-616, 2014.

LERNER, A. B.; CASE, J. S.; TAKAHASHI, Y.; LEE, T. H.; MORI, W. Isolation of s melatonin, the pineal gland factor that lightens melanocytes. **Journal of American Chemical Society**, n. 80, p. 2587, 1958.

LI, H.; GUO, Y.; LAN, Z.; ZHANG, Z.; AHAMMED, G. J.; CHANG, J.; ZHANG, X. Melatonin antagonizes the action of ABA to promote seed germination by regulating Ca²⁺ efflux and H₂O₂ accumulation. **Plant Science**, v. 303, p.110761, 2021.

LI, T.; HUANG, F.; ZHU, Q.; LU, X.; HE, Z.; JIANG, J.; SUN, X. Comparative transcriptomic and metabolic analysis reveals the effect of melatonin on delaying

anthracnose incidence upon postharvest banana fruit peel. **BMC Plant Biology**, v. 19, p. 289, 2019.

LIU, C.; ZHENG, H.; SHENG, K.; LIU, W.; ZHENG, L. Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit. **Postharvest biol. Technol**, v.139, p.47–55, 2018.

LIU, J.; ZHANG, R.; SUN, Y.; LIU, Z.; JIN, W.; SUN, Y. The beneficial effects of exogenous melatonin on tomato fruit properties. **Scientia Horticulturae**, v. 207, p. 14-20, 2016.

LUENGO, R. F. A.; TRANI, P. E.; AZEVEDO FILHO, J. A. de. Determination of soil mineral content and analyses of collards leaves grown in Brasília. **Braz. J. Food Technol.**, v. 21, p. e2017141, 2018.

LV, Y.; LI, Y.; LIU, X.; XU, K. Photochemistry and proteomics of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) under drought and shading. **Plant physiology and biochemistry**, v. 151, p. 188-196, 2020.

MAHMOOD, A. H.U Y.; TANNY, J.; ASANTE, E. A. Effects of shading and insect-proof screens on crop microclimate and production: A review of recent advances. **Scientia Horticulturae**, v. 241, n. 18, p. 241-251, 2018.

MANDAL, M. K.; SUREN, H.; WARD, B.; BOROUJERDI, A.; KOUSIK, C. Differential roles of melatonin in host plant resistance and pathogen suppression in cucurbits. **Journal of Pineal Research**, v. 65, n. 3, p. e12505, 2018.

MANSOURI, S.; SARIKHANI, H.; SAYYARI, M.; AGHDAM, M. S. Melatonin accelerates strawberry fruit ripening by triggering GAMYB gene expression and promoting ABA accumulation. **Scientia Horticulturae**, v. 281, p. 109919, 2021.

MENG, J. F.; XU, T. F.; SONG, C. Z.; YU, Y.; HU, F.; ZHANG, L.; XI, Z. M. Melatonin treatment of pre-veraison grape berries to increase size and synchronisation of berries and modify wine aroma components. **Food Chemistry**, v. 185, p. 127-134, 2015.

MENHAS, S.; YANG, X.; HAYAT, K; AFTAB, T.; BUNDSCHUH.; ARNAO, M.B.; ZHOU, Y.; ZHOU, P. Exogenous Melatonin Enhances Cd Tolerance and Phytoremediation Efficiency by Ameliorating Cd-Induced Stress in Oilseed Crops: A Review. **Journal of Plant Growth Regulation**, p. 1-14, 2021.

MIAO, H.; ZENG, W.; ZHAO, M.; WANG, J.; WANG, Q. Effect of melatonin treatment on visual quality and health-promoting properties of broccoli florets under room temperature. **Food Chemistry**, v. 319, p. 126498, 2020.

MUHAMMAD, I.; SHALMANI, A.; ALI, M.; YANG, Q. H.; AHMAD, H.; LI, F. B. Mechanisms regulating the dynamics of photosynthesis under abiotic stresses. **Frontiers in plant science**, v. 11, p. 615942, 2021.

NOVO, M. C. S. S.; PRELA-PANTANO, A.; TRANI, P. E.; BLAT, S. F. Desenvolvimento e produção de genótipos de couve manteiga. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 3, p. 321-325, 2010.

PARK, H. S.; GHASEMI KAZEROONI, E.; KANG, S. M.; AL-SADI, A. M.; LEE, I. J. Melatonin enhances the tolerance and recovery mechanisms in *Brassica juncea* (L.) Czern. under saline conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 593717, 2021.

PELAGIO-FLORES, R.; MUÑOZ-PARRA, E.; ORTIZ-CASTRO, R.; LÓPEZ-BUCIO, J. Melatonin regulates Arabidopsis root system architecture likely acting independently of auxin signaling. **Journal of Pineal Research**, v. 53, n. 3, p. 279-288, 2012.

QI, H.; XIA, F. N.; XIAO, S. Autophagy in plants: physiological roles and post-translational regulation. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 63, n. 1, p. 161-179, 2021.

QI, Z. Y.; WANG, K. X.; YAN, M. Y.; KANWAR, M. K.; LI, D. Y.; WIJAYA, L.; ZHOU, J. Melatonin alleviates high temperature-induced pollen abortion in *Solanum lycopersicum*. **Molecules**, v. 23, n. 2, p. 386, 2018.

RAAI, M. N.; ZAIN, N. A. M.; OSMAN, N.; REJAB, N. A.; SAHRUZAINI, N. A.; CHENG, A. Effects of shading on the growth, development and yield of winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus*). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 50, n. 2, p. 1-7, 2020.

ŠAMEC, D.; URLIĆ, B.; SONDI, B. S. Kale (*Brassica oleracea* var. acephala) as a superfood: Review of the scientific evidence behind the statement. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 15, 2019.

SANTOS, C. C.; GOELZER, A.; SILVA, O. B.; SANTOS, F. H. M.; SILVERIO, J. M.; SCALON, S. P. Q.; VIEIRA, M. C.; HEREDIA ZÁRATE, N. A. Morphophysiology and quality of *Alibertia edulis* seedlings grown under light contrast and organic residue. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 5, p. 375-382, 2023.

SATO, H.; MIZOI, J.; SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI K. Respostas complexas de plantas à seca e ao estresse por calor sob mudanças climáticas. **Plant J**, v. 117, p.1873–1892, 2024.

SHAHAK Y. Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops: A review of ornamental and vegetable studies in Israel. **Acta Horticultae**. v. 770, p.161-168, 2008.

SHARMA, A.; KUMAR, V.; SHAHZAD, B.; RAMAKRISHNAN, M.; SIDHU, G. P. S.; BALI, A. S.; HANDA, N.; KAPOOR, D.; YADAV, P.; KHANNA, K.; BAKSHI, P.; REHMAN, A.; KOHLI, S. K.; KHAN, E. A.; PARIHAR, R. D.; YUAN, H.; THUKRAL, A. K.; BHARDWAJ, R.; ZHENG, B. Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: a review. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 39, p. 509-531, 2020.

SIKORA, E.; BODZIARCZYK, I. Composition and antioxidant activity of kale (*Brassica oleracea* l. var. *acephala*) raw and cooked. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 11, n. 3, p. 239-248. 2012.

SONGSERM, R.; NISHIYAMA, Y.; SANEVAS, N. Light Influences the Growth, Pigment Synthesis, Photosynthesis Capacity, and Antioxidant Activities in *Scenedesmus falcatus*. **Scientifica**, v. 2024, p. 1-12, 2024.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6^a ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017. 888p.

TAN, DUN-XIAN.; HARDELAND, R.; MANCHESTER, L.C.; KORKMAZ, A.; MA, S.; CORRAL, S.R.; REITER, R.J. Functional roles of melatonin in plants, and perspectives in nutritional and agricultural science. **Journal of experimental botany**, v. 63, n. 2, p. 577-597, 2012.

THAKUR, M.; BHATT, V.; KUMAR, R. Effect of shade level and mulch type on growth, yield and essential oil composition of damask rose (*Rosa damascena* Mill.) under mid hill conditions of Western Himalayas. **Plos one**, v. 14, n. 4, p. 1-14, 2019.

TIJERO, V.; MUÑOZ, P.; MUNNE-BOSCH, S. Melatonin as an inhibitor of sweet cherry ripening in orchard trees. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 140, p. 88-95, 2019.

TOIVONEN, P. M. A.; BRUMMELL, D. A. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, n.1, p.1-14, 2008.

TRANI, P. E.; TIVELLI, S. W.; BLAT, S. F.; PRELA-PANTONO, A.; TEIXEIRA, E.P.; ARAUJO, H. S.; FELTRAN, J. C.; PASSOS, F. A.; FIGUEIREDO, G. J. B.; NOVO, M. C. S. S. **Couve de folhas: do plantio à colheita**. Campinas: IAC, 2015. 36 p. (Série Tecnológica Apta. Boletim técnico IAC, 214).

UMESH, M. R.; ANGADI, S.; BEGNA, S.; GOWDA, P.; PRASAD, P. V. Shade tolerance response of legumes in terms of biomass accumulation, leaf photosynthesis, and chlorophyll pigment under reduced sunlight. **Crop Science**, v. 63, n. 1, p. 278-292, 2023.

VAZ, R. S.; SALOMÃO, L. C.; MORGADO, H. S.; SOUSA, C. M.; OLIVEIRA, H. F. E. Growth and production of basil under different luminosity and water replacement levels. **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 3, p. 324-328, 2020.

VILAR, M.; CARTEA, M. E.; PADILLA, G.; SOENGAS, P.; VELASCO, P. The potential of kales as a promising vegetable crop. **Euphytica**, v. 159, n. 1, p. 153-165, 2008.

VUKOVIC, M.; JURIC, S.; BANDIC, L. M.; LEVAJ, B.; FU, DA-QI.; JEMRIC, T. Sustainable food production: Innovative netting concepts and their mode of action on fruit crops. **Sustainability**, v. 14, n. 15, 2022.

XU, L.; YU, J.; HAN, L.; HUANG, B. Melatonin enhances salt tolerance by promoting MYB108A-mediated ethylene biosynthesis in grapevines. **Horticultural Research**, v. 6, p. 114, 2019.

YANG, J.; SONG, J.; JEONG, B. R. Lighting from top and side enhances photosynthesis and plant performance by improving light usage efficiency. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 5, p. 2448, 2022.

YAVARI, N.; TRIPATHI, R.; WU, B. S.; MACPHERSON, S.; SINGH, J.; LEFSRUD, M. The effect of light quality on plant physiology, photosynthetic, and stress response in *Arabidopsis thaliana* leaves. **PLoS One**, v. 16, n. 3, p. e0247380, 2021.

ZHANG, J.; LIU, J.; YANG, C.; DU, S.; YANG, W. Photosynthetic performance of soybean plants to water deficit under high and low light intensity. **South African Journal of Botany**, v. 105, p. 279-287, 2016.

ZHANG, W.; CAO, J.; FAN, X.; JIANG, W. Applications of nitric oxide and melatonin in improving postharvest fruit quality and the separate and crosstalk biochemical mechanisms. **Trends Food Scientia Technology**. v.99, p.531–541, 2020.

CAPÍTULO II

**CRESCIMENTO DA COUVE DE FOLHAS SOB NÍVEIS DE
SOMBREAMENTO E MELATONINA**

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento da couve de folhas sob níveis de sombreamento na presença e ausência de melatonina. O experimento foi realizado em casa de vegetação, localizada na horta experimental da Universidade Federal do Acre, em Rio Branco, Acre, no período de janeiro a abril de 2024. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 5 x 2, totalizando 10 tratamentos e 5 repetições. Os fatores corresponderam à níveis de sombreamento, sendo: pleno sol (controle); 20%; 35%; 50% e 65% de sombreamento e a ausência e presença de melatonina na dose de 50 µM, totalizando 10 tratamentos. Aos 100 dias de cultivo, foram avaliados: comprimento e largura foliar, diâmetro do coleto, altura da planta, número total de folhas, massa seca e fresca foliar e massa seca da raiz. Houve efeito significativo pelo teste de Tukey para largura da folha, diâmetro do coleto, número de folhas totais, altura da planta e massa seca das folhas para o fator níveis de sombreamento. Verificou-se que a melatonina de forma isolada teve efeito significativo para o diâmetro do coleto, altura da planta, massa seca e fresca das folhas, e massa seca da raiz. O sombreamento em níveis de 50% e 65%, aliado à presença de melatonina na dose de 50 µM, promove maior desenvolvimento e biomassa da couve de folhas.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *acephala*; Ambiente protegido; Bioestimulante; Estresse abiótico.

KALE GROWTH FROM SHADE AND MELATONIN LEVELS

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the growth of kale produced in a shaded environment in the presence na absence of melatonina. The experimento was carried out in a greenhouse, located in the experimental field of the Federal University of Acre, in Rio Branco, Acre, from January to April 2024. The experimental design used was completely randomized (DIC) in a 5x2 factorial scheme. The factors corresponded to shaded mesh levels in full sun (control); 20%; 35%; 50% and 65% shading, for the second fator, the absence and presence of melatonin at a dose of 50 µM was considered. The evaluations took place after 100 days of cultivation, evaluating: leaf lenght and width, stem diameter, plant height, total number of leaves, leaf dry and fresh mass and root dry mass. There was a significant effect for leaf weidth, stem diameter, number of total leaves, plant heigth, dry and fresh leaf mass, and root dry mass. Shading at levels of 50% and 65%, combined with the presence of melatonina at a dose of 50 µM, promoted greater development and biomass of cabbage leaves. In addition to enhancing the plant's resilience in adverse conditions.

Keywords: *Brassica oleracea* var. acephala; Shaded environment; Biostimulant; Abiotic stress.

1 INTRODUÇÃO

A couve de folhas (*Brassica oleracea* var. *acephala*), é uma hortaliça altamente valorizada por seus benefícios nutricionais e medicinais. Pertencente à família *Brassicaceae*, destaca-se por sua riqueza em vitaminas, minerais, fibras e compostos bioativos. Nativa da região do Mediterrâneo, a couve tem melhor desenvolvimento em temperaturas mais amenas (16 a 22 °C), porém apresenta tolerância ao calor (Trani *et al.*, 2015). Suas folhas são versáteis na culinária, podendo ser consumidas cruas, refogadas ou em sucos, e têm sido alvo de estudos científicos devido ao seu potencial na prevenção de doenças crônicas e no fortalecimento do sistema imunológico.

A luminosidade é um dos principais fatores ambientais determinantes para o desenvolvimento vegetal, influenciando diretamente o crescimento, a morfogênese e a produtividade das culturas agrícolas. Em um contexto de mudanças climáticas globais, a ocorrência de eventos extremos, como variações na radiação solar e períodos prolongados de déficit hídrico, tem se intensificado, impondo desafios significativos à fisiologia das plantas. Diante dessas condições ambientais adversas cenário, as plantas necessitam ativar mecanismos adaptativos que lhes permitam mitigar os efeitos do estresse abiótico e assegurar sua sobrevivência e desempenho produtivo (Andriolo, 2000; Shafiq *et al.*, 2021; Naseer *et al.*, 2022).

As variações nos níveis de intensidade luminosa, como a diminuição de luminosidade em ambientes sombreados, alteram a eficiência fotossintética, limitando a produção de biomassa e afetando negativamente parâmetros morfológicos como o número de folhas, altura da planta e massa seca (Cesar *et al.*, 2014; Echer *et al.*, 2019). Esse impacto é particularmente relevante em sistemas agrícolas em que práticas como o uso de sombreamento são utilizadas para atenuar estresses por calor e altas luminosidades ou para preservar a qualidade de hortaliças (Bezerra neto *et al.*, 2005).

Assim, a aplicação de sombreamento artificial tem se mostrado uma estratégia eficaz na proteção de plantas contra estresses abióticos, como o excesso de luminosidade. Essa técnica diminui a intensidade luminosa e fornece às plantas condições uniformes de iluminação, afetando o processo fotossintético e melhorando a resistência das plantas a condições adversas (Almeida *et al.*, 2004; Rosa *et al.*, 2021; Mira-García *et al.*, 2023).

Além disso, alguns estudos também têm investigado o uso de substâncias bioativas para mitigar os efeitos do estresse por temperatura e luminosidade, dentre essas o uso de melatonina, molécula amplamente conhecida por sua atuação em organismos animais, mas que também desempenham papel essencial na regulação de processos fisiológicos em plantas (Nawaz *et al.*, 2016).

A melatonina foi identificada em plantas como um regulador multifuncional, envolvida na promoção de crescimento, proteção contra estresses abióticos e bióticos, além da regulação do ciclo circadiano e aumento da eficiência fotossintética (Dubbels *et al.*, 1995; Zhang *et al.*, 2020). Sua utilização e aplicação exógena tem apresentado efeitos positivos na preservação e manutenção de pigmentos fotossintéticos como a clorofila *a* e *b*, crucial em condições de sombreamento onde a capacidade fotossintética é menor (Wang *et al.*, 2013; Shi *et al.*, 2016).

Estudos recentes indicam que a melatonina não apenas melhora a tolerância em condições adversas, como o aumento e diminuição de temperatura, mas também promovem o crescimento de mudas em condições de estresse luminoso (Reiter *et al.*, 2014). O efeito protetor da melatonina é atribuído à sua capacidade de modular a atividade de enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), além da atuação na proteção contra o estresse oxidativo causado por espécies reativas de oxigênio (ROS) (Tan *et al.*, 2012). Adicionalmente, a melatonina também tem mostrado aumentar o diâmetro do coleto e o acúmulo de massa seca em diversas culturas sob condições de estresse ambiental, o que pode ser particularmente útil em sistemas de produção de hortaliças (Hernández *et al.*, 2015).

Entretanto, não há informações agronômicas para o crescimento da couve de folhas cultivada sob níveis de sombreamento e utilização de melatonina, evidenciando a necessidade de recomendações técnicas sobre os efeitos dessas condições. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar o crescimento da couve de folhas sob níveis de sombreamento na presença e ausência de melatonina.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em telados, localizados no campo experimental da Universidade Federal do Acre, em Rio Branco, Acre, no período de Janeiro a Abril de 2024. Como planta teste foi utilizada a couve de folhas (*Brassica oleracea* var. *acephala*) cultivar manteiga e com ciclo médio de 90-100 dias.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 5 x 2, com cinco repetições totalizando 50 unidades experimentais as quais constituíram-se de vasos de polipropileno de cor preta, com diâmetro e altura de 17,5 cm, perfazendo volume de 5 L. Os fatores corresponderam à níveis de sombreamento a pleno sol (controle); 20%; 35%; 50% e 65% (APÊNDICE F); para o segundo fator foi considerado a ausência e presença de melatonina na dose de 50 μM .

Para caracterização no interior dos ambientes sombreados, foram realizadas medições da Radiação fotossinteticamente ativa (PAR), utilizando-se o aparelho analisador de gás no infravermelho – IRGA (LI-64000 XT, LI-COR Inc., CA, EUA), sendo: 1950 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 1050 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 750 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 760 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente.

Para produção das mudas foi utilizado o substrato comercial mecplant®. Atributos químicos e físicos do substrato comercial apresentados na instalação do experimento foram: pH = 5,6; P = 2,09 mg.L⁻¹; K = 112,0 mg.L⁻¹; Ca = 122,0 mg.L⁻¹; Mg = 44,8; S = 134,0 mg.L⁻¹; B = 0,08 mg.L⁻¹; Cu = 0 mg.L⁻¹; Fe = 0 mg.L⁻¹; Mn = 0,60 mg.L⁻¹; Na = 37,0 mg.L⁻¹ e Físicos: D.a = 269,0 Kg.m⁻³; C.R.A = 249,36 %; C.E = 0,639 Mili.Scm⁻¹.

As mudas foram produzidas em bandejas de isopor de 128 células, nas quais foram introduzida três sementes por célula. O desbaste foi realizado oito dias após a semeadura das sementes na bandeja mantendo-se a planta mais vigorosa por célula. Aos 20 dias, quando as plântulas apresentavam dois pares de folhas definitivas, foram transplantadas da bandeja para copos descartáveis preenchidos com o substrato comercial mecplant®. Aos 35 dias, quando as plântulas apresentavam seis folhas definitivas, foi efetuado o transplante das mudas para os vasos de 5 litros (APÊNDICE H).

As irrigações foram efetuadas diariamente no período da manhã e final da tarde, sempre verificando a necessidade de manutenção dos níveis adequados de

umidade do substrato. O controle de insetos e plantas espontâneas foi efetuado de forma manual mediante catação de insetos e arranquio de invasoras. Para o controle fitossanitário foram realizados os tratos culturais como controle da lagarta da couve (*Ascia monuste* orseis) utilizando o inseticida biológico Dipel WP® (*Bacillus thuringiensis* var. Kurstaki) na dosagem de 0,6 g L⁻¹, duas vezes por semana.

A solução⁴ de melatonina foi preparada dissolvendo-se a melatonina em 1L de água destilada para obtenção da dose de 50 µM, e em seguida, pulverizadas sobre as plantas, cobrindo todas as folhas até o ponto de escorramento. No grupo controle (ausência de MEL), apenas água destilada foi pulverizada nas folhas (APÊNDICE G).

A aplicação dos tratamentos teve início nos 38 dias pós transplantes das mudas para os vasos, sendo realizada durante quatro semanas seguidas. A melatonina, por ser uma molécula fotossensível, teve seu armazenamento em ambiente escuro e período de aplicação nas plantas no final da tarde, com o objetivo de preservar sua integridade e estabilidade, conforme relatado por Hwang (2018).

Aos 100 dias após a semeadura as plantas foram submetidas as seguintes avaliações: altura da planta (AP), com aferição realizada com auxílio de uma régua graduada (cm), diâmetro do coleto (DC), realizada com auxílio de um paquímetro digital, comprimento e largura foliar (CF e LF), obtida com o auxílio de uma régua graduada em cm, número de folhas totais (NFT) obtida por meio da contagem de todas as folhas da planta, exceto as não expandidas e brotações, e massa fresca foliar (MFF) aferida por pesagem em balança de precisão.

Posteriormente, as amostras de parte aérea e raízes foram alocadas em embalagem do tipo papel Kraft e levadas para secagem em estufa de circulação forçada de ar, em temperatura de 65 °C até atingir massa constante. Após atingir constante, o material fora realizado aferição das massas seca foliar e das raízes (MSF e MSR), aferidas com utilização de balança de precisão.

Os dados coletados foram submetidos a verificação de dados discrepantes (outliers) pelo teste de Grubbs (1969), de normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk (1965) e de homogeneidade das variâncias pelo teste de Cochran (1941). Posteriormente efetuou-se análise de variância pelo teste F,

⁴ Para calcular a dose de 50 µM de melatonina foi utilizado a massa em gramas de uma gota de MEL conforme indicado pelo fabricante (0,21 mg ou 0,0021 g) e a massa molar da melatonina (232,278 g/mol), determinando o número nº de mols por gota (massa em g/ massa molar). A quantidade de melatonina necessária para diluir em 1 litro de água destilada foi de 2,76 ml de MEL.

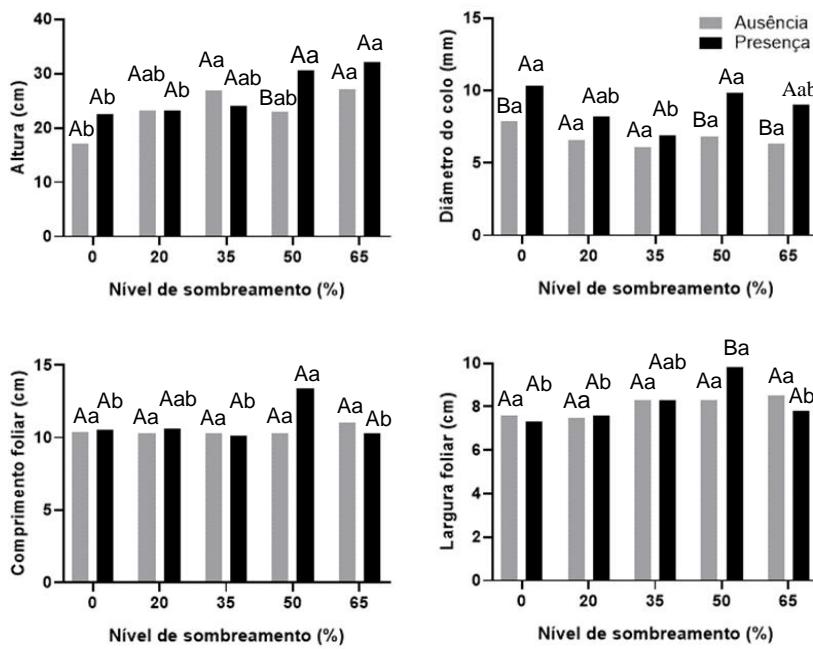
constatando-se significância estatística, foram realizadas comparações de médias pelo teste de Tukey (1949) a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa Sisvar® (Ferreira, 2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo ($p<0,05$) para largura da folha, diâmetro do coleto, número de folhas totais, altura da planta e massa seca das folhas em relação ao fator níveis de sombreamento. A melatonina, de forma isolada, teve efeito significativo para o diâmetro do coleto, altura da planta, massa seca e fresca das folhas, e massa seca da raiz. A interação entre sombreamento e melatonina foi apenas significativa para massa seca foliar (APÊNDICE A).

Observou-se efeito positivo dos níveis de sombreamento, sendo o principal fator a influenciar as variáveis de crescimento. Os níveis mais altos na presença de melatonina (50% e 65%) favoreceram o desenvolvimento em altura, diâmetro do coleto, largura e comprimento foliar (Figura 1).

Figura 1 - Altura da planta (A), comprimento foliar (C), largura foliar (D) e diâmetro do coleto (B) sob níveis de sombreamento na presença e ausência de melatonina em couve de folhas. Rio Branco, AC, 2024.



*Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem ($p>0,05$) entre si pelo teste de Tukey em relação ao sombreamento dentro da melatonina. Médias seguidas de mesma letra maiúscula, não diferem ($p>0,05$) entre si pelo teste de Tukey em relação a melatonina dentro do sombreamento.

A melatonina em sombreamento de 50% favoreceu o desenvolvimento em largura e comprimento foliar da couve de folhas, enquanto em pleno sol o sombreamento de 35% não influenciou efetivamente (Figura 1C e 1D). Isoladamente a aplicação de melatonina

nas plantas proporcionaram aumento e largura foliar na medida que o sombreamento aumentava, estabilizando em 50% e diminuindo em sombreamento de 65%, possivelmente em virtude da baixa luminosidade e dificuldade de desenvolvimento.

Isso pode ser atribuído à criação de um microclima mais equilibrado, com menor intensidade luminosa e temperaturas moderadas, fatores que reduzem o estresse ambiental sobre as plantas. Além disso, a maior área foliar observada em tais condições pode ter sido particularmente afetada pela presença de melatonina, refletindo o seu potencial ao atuar na regulação de processos fisiológicos como a menor degradação da clorofila, expansão celular e a manutenção da homeostase hídrica, especialmente em ambientes de alta ou baixa luminosidade (Zhang *et al.*, 2020).

A área foliar (comprimento e largura foliar) é um parâmetro essencial para a produtividade das plantas e valor comercial, pois influencia diretamente a produção de fotoassimilados por meio da fotossíntese. Isso ocorre porque a fotossíntese, depende da interceptação da energia luminosa e de sua conversão em energia química (Silva *et al.*, 2011).

A couve, como inúmeras espécies pertencentes à família *Brassicaceae*, apresentam mecanismo fotossintético do tipo C3, o que a torna menos adaptada a altos níveis de sombreamento (Apel *et al.*, 1997). Assim, características de maior área foliar podem ser beneficiadas pelos níveis intermediários de sombreamento (35% e 50%), confirmando que o ambiente com luminosidade moderada podem melhorar a atividade de expansão foliar da couve de folhas, pelas ótimas condições.

Ambientes com maiores níveis de luminosidade resultaram em menor diâmetro e comprimento, possivelmente pela menor eficiência na captação de luz na condição de estresse imposta. Planta cultivadas a pleno sol ou sob baixos níveis de sombreamento tem como resposta adaptativa ao aumento da temperatura e da transpiração reduzindo a área foliar (Sales *et al.*, 2014; Taiz *et al.*, 2007).

A aplicação de melatonina em culturas hortícolas, promove a melhoria de tolerância ao estresse de danos oxidativos, ao estimular os aspectos de crescimento e desenvolvimento, como germinação das sementes, crescimento das raízes e expansão foliar (Pan *et al.*, 2023). Também é relatado que a melatonina aumenta a tolerância ao estresse regulando a expressão de genes e hormônios, incluindo auxinas, giberelinas, citocininas e etileno (Zhang *et al.*, 2020). Estudo realizado por Mir *et al.* (2020), ao avaliarem o crescimento de *Brassica Juncea* utilizando a dose

40 µM de melatonina, constataram um aumento de 26,0 % na área foliar quando comparada com o tratamento controle.

Embora a melatonina geralmente promova a expansão foliar, concentrações elevadas podem levar à inibição do crescimento, destacando a importância da dosagem ideal de aplicação para cada cultura (Shi *et al.*, 2016). Wang *et al.* (2016) observaram a expansão celular no crescimento de folhas utilizando a dose de 50 µM de melatonina em *Arabidopsis*, e inferiram que concentrações abaixo da dosagem utilizado tiveram pouco efeito no conteúdo de melatonina endógena e no crescimento foliar.

Médias de diâmetro do coleto foram estatisticamente iguais na ausência de melatonina entre os níveis de sombreamento (Figura 1B). Na presença de melatonina, o nível de sombreamento à pleno sol e 50% foram superiores às médias dos demais tratamentos em aproximadamente 23,69% e 18,27%, respectivamente. O desempenho do diâmetro do coleto nas plantas de couve à pleno sol e no nível de sombreamento 50%, são possivelmente relacionados a influencia da melatonina no aumento da resistência do caule e na promoção do desenvolvimento das raízes em situação de estresse luminoso, o que pode afetar indiretamente o diâmetro do coleto (Zhao *et al.*, 2022).

O diâmetro do coleto é um dos fatores importantes na avaliação de qualidade e desenvolvimento das plantas, pois é o eixo de sustentação da parte aérea vegetal, que é responsável pela maior percentual da biomassa em vegetais (Trani *et al.*, 2015). A presença da melatonina pode levar a um colo da planta mais espesso devido ao aumento do suporte estrutural (Zhao *et al.*, 2022). Além disso, a melatonina interage com outros fitohormônios, como auxinas, que são responsáveis por influenciar o desenvolvimento da raiz e do caule (Verma *et al.*, 2023).

Wang *et al.* (2022) obtiveram maior diâmetro do colo em mudas de pepino, e o tratamento com melatonina foi crucial para a absorção de nutrientes e da estabilidade na planta. A suplementação de melatonina aumentou significativamente a resistência do caule de pêonia herbácea, levando a um colo da planta mais espesso devido ao aumento de lignina na parede celular (Zhao *et al.*, 2022).

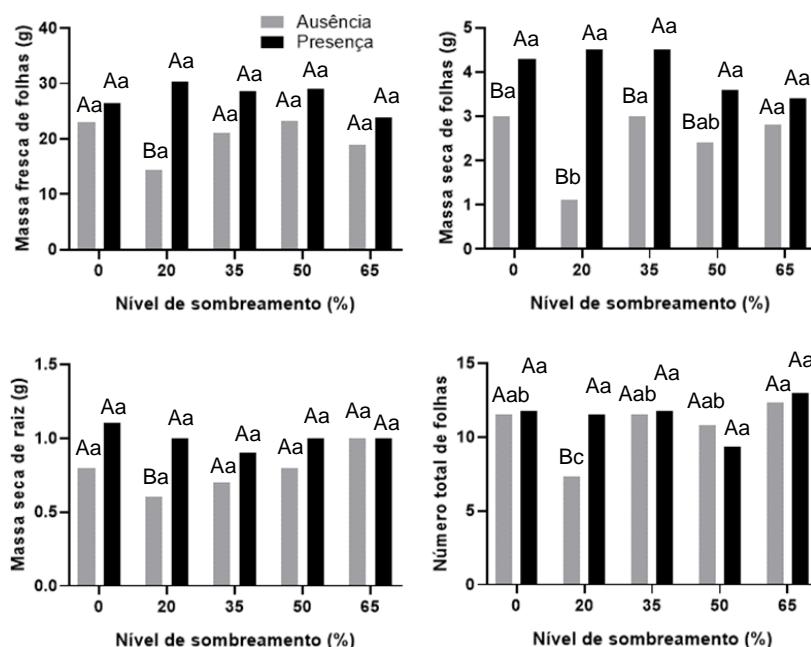
As maiores médias em altura da planta foram obtidas no tratamento utilizando-se de sombreamento de 50% e 65% na presença de melatonina, sendo superiores ás médias dos demais tratamentos em aproximadamente 34% e 41%, respectivamente (Figura 1A). O cultivo a pleno sol apresenta as menores médias em altura da planta. A variável

altura da planta é um parâmetro que indica a qualidade do desenvolvimento morfológico em plantas hortaliças (Yin et al., 2019).

Oliveira et al. (2019) ao realizar pesquisa com a cebolinha sob sombreamento de 50%, obtiveram maior altura no tratamento sombreado, possibilitando o controle do desenvolvimento vegetativo da planta e intervindo em fatores como: área foliar e altura. Conforme observado por Wei et al. (2015), a melatonina na dose de 50 μM promove o crescimento em altura e a tolerância ao estresse em plantas, por meio da ativação de genes relacionados à replicação do DNA e à divisão celular, resultando em uma maior capacidade antioxidante e em sistemas de membranas mais estáveis no fotossistema I e II.

A variável número de folhas totais apresentou diferenças ($p < 0,05$) entre os níveis de sombreamentos utilizados, as maiores médias foram observadas nos níveis de 65% na presença e ausência de melatonina, com aproximadamente 13 folhas por planta (Figura 2D). O número de folhas total reflete o vigor da planta, representando a interação entre seu potencial genético e as condições ambientais do cultivo, e neste caso o desejável é que quanto maior o número total de folhas, maior será o número de folhas comerciais.

Figura 2. Massa fresca (A) e seca de folhas (B), massa seca de raiz (C) e número total de folhas (D) sob níveis de sombreamento na presença e ausência de melatonina em couve de folhas. Rio Branco, AC, 2024.



*Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem ($p > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey em relação ao sombreamento dentro da melatonina. Médias seguidas de mesma letra maiúscula, não diferem ($p > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey em relação a melatonina dentro do sombreamento.

Nesta pesquisa, o melhor vigor em número de folhas foi obtido em altos níveis de sombreamento, esses resultados sugerem que os ambientes sombreados proporcionaram benefícios às plantas, diminuindo a radiação solar e o estresse térmico, ofertando a planta maior energia para desenvolvimento e produção de folhas. Resultados semelhantes foram encontrados por Ferreira *et al.* (2021), que observaram maior número de folhas em plantas de ora-pró-nobis em sombreamento 50% quando comparadas àquelas crescidas em pleno sol.

De forma semelhante, Santos *et al.* (2009) obtiveram melhor desempenho no número de folhas totais no cultivo de alface em ambientes sombreados. Corroborando com Bhering (2013), ao estudar o efeito do sombreamento em brócolis, os resultados em maior número de folhas por planta foi observado nas plantas cultivadas nos ambientes sombreados. O cultivo de hortaliças em altas temperaturas e luminosidade pode impedir o crescimento das folhas, logo o uso das malhas de sombreamento pode ser uma alternativa para obtenção de maiores produtividades.

A MFF, MSF e MSR foram estatisticamente iguais entre os níveis de sombreamento, com maiores médias observadas na presença de melatonina (Figura 2A, 2B e 2C). Os acúmulos significativos em massa indicam que às plantas de couve apresentam melhor desempenho em ambientes sombreados, resultando em menor exigência por comprimentos de onda específicos. Quando cultivadas sob sombreamento, as plantas de couve podem ter direcionado a produção dos seus fotoassimilados de forma eficiente para o desenvolvimento de suas partes vegetativas, resultando em maior acúmulo de nutrientes (Taiz *et al.*, 2017).

A melatonina desempenha um papel regulador e antioxidante no crescimento das plantas, promovendo a distribuição celular e o desenvolvimento dos tecidos, o que favorece o aumento da massa foliar fresca e seca, e também desenvolvimento radicular (Azher *et al.*, 2016). Em situações de estresse abiótico, como seca, alta temperatura e luminosidade intensa, a melatonina confere às plantas uma maior capacidade de resiliência, ajudando a manter suas funções fisiológicas mesmo em condições adversas (Fan *et al.*, 2018). Além disso, a melatonina pode regular a síntese e o transporte de auxina, um hormônio essencial para a formação das folhas e raízes em plantas (Wang *et al.*, 2022).

Os dados obtidos para massa fresca e seca superaram os relatados por Philipp *et al.* (2018), que ao estudar cultivares de rúcula submetidas a pleno sol

e sombrite 50%, observaram maiores médias de massa seca e fresca sob pleno sol. Balkaya e Yanmaz (2005) ressaltam a importância de analisar estudos em diferentes condições ambientais para compreender as interações entre genótipo e ambiente, além de alcançar melhores resultados por meio de práticas culturais aprimoradas. Com base nisso, entende-se que nem todas as espécies vegetais respondem positivamente ao sombreamento, uma vez que podem ser menos adaptáveis devido à restrição de luz.

Os resultados obtidos nesta pesquisa reforçam a importância de considerar o nível de sombreamento e o uso de melatonina no cultivo de hortaliças folhosas, como a couve de folhas. O sombreamento, especialmente em alto nível (50% e 65%), revelou-se um fator determinante para o desempenho das variáveis morfológicas e fisiológicas demonstradas, promovendo melhorias significativas na altura da planta, número de folhas, diâmetro do coleto e área foliar.

A melatonina, por sua vez, destacou-se como um regulador eficiente, especialmente em situações de estresse luminoso, contribuindo para maior estabilidade metabólica, além de favorecer o crescimento vegetativo e o acúmulo de biomassa. Esses resultados corroboram estudos prévios que apontam a capacidade da melatonina em mitigar os efeitos adversos de condições ambientais extremas, atuando em conjunto com fitohormônios como auxinas e citocininas na promoção do crescimento e desenvolvimento das plantas (Wang *et al.*, 2022; Fan *et al.*, 2018).

Dessa forma, a interação entre sombreamento e melatonina destaca-se como uma estratégia promissora para maximizar o rendimento de hortaliças folhosas em sistemas de cultivo protegidos, contribuindo para a redução do estresse térmico e a melhoria da eficiência no uso de recursos naturais. A continuidade de pesquisas nessa área poderá explorar novas combinações em diferentes níveis de sombreamentos e doses de melatonina, otimizando práticas agrícolas e fornecendo subsídios para a produção sustentável em diferentes contextos ambientais e culturais.

4 CONCLUSÕES

O sombreamento em níveis de 50% e 65%, aliado à presença de melatonina em 50 µM, promove o maior desenvolvimento e biomassa em couve de folhas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. P. de; ALVARENGA, A. A. de; CASTRO, E. M. de; ZANELA, S. M.; VIEIRA, C. V. Crescimento inicial de plantas de *Cryptocaria aschersoniana* Mez. submetidas a níveis de radiação solar. **Ciência Rural**, v. 34, n. 1, p. 83-88, 2004.
- APEL, P., HORSTMANN, C., PFEFFER, M. The Moricandia syndrome in species of the *Brassicaceae* – evolutionary aspects. **Photosynthetica**, v. 33, p. 205-215, 1997.
- AZHER, M.; YUAN, N.; ZHILONG, H.; WAQAR, B.; RUSSEL, WAQAR.; MENGLIANG, N.; HAMMED, S. Melatonin: Current status and future perspectives in plant. **Frontiers in plant Science**, v. 6, p. 1230-1239, 2016.
- BALKAYA, A.; YANMAZ, R. Promising kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) populations from Black Sea region, Turkey. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 33, n. 1, p. 1-7, 2005.
- BEZERRA, L. T.; SANTOS, A. R. C. S.; FARIAS, A. S.; SOUTO, P. C.; FERREIRA, V. M.; ARAÚJO NETO, J. C.; NASCIMENTO, H. H. C. Emergência e crescimento inicial de plântulas de *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) em diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1126-1140, 2020.
- BHERING, A. S. **Efeito das malhas termorefletora, difusora e sombrite no crescimento e produtividade do brócolis**. Dissertação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013, 39p.
- CÉSAR, F. R. C. F.; MATSUMOTO, S. N.; VIANA, A. E. S.; BONFIM, J. A. Crescimento inicial e qualidade de mudas de *Pterogyne nitens* Tull. Conduzidas sob diferentes níveis de restrição luminosa artificial. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 357-366, 2014.
- COCHRAN, W. G. The distribution of the largest of a set of estimated variances as a fraction of their total. **Annals of Eugenics**, v. 11, n. 1, p. 47-52, 1941.
- DUBBELS, R.; REITER, R. J.; KLENKE, E.; GOEBEL, A.; SCHNAKENBERG, E.; EHLERS, C. Melatonin in edible plants identified by radioimmunoassay and by high performance liquid chromatography-mass spectrometry. **Journal of pineal research**, v. 18, n. 1, p. 28-31, 1995.
- ERDAL, S. Melatonin promotes plant growth by maintaining integration and coordination between carbon and nitrogen metabolisms. **Plant Cell**, v. 38, p. 1001–1012, 2019.
- FAN, I.; YAN, X.; ZAICHAO, Z.; LIANG, CHEN. Melatonin: A multifunctional factor in plants. **International journal of molecular sciences**, v. 19, n. 5, p. 1528, 2018.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR**. Versão 5.6 (Build 86). Lavras: Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Exatas, 2010.

FERREIRA, P. M; SOUZA, S. S.; BRITO, G. S.; LIMA, J. C.; SANTOS, A. R. **Pereskia aculeata sob ambientes de luz.** In: D'Ávila, L. S. SANTOS, N. M.; RAMOS, Y. C.; SILVA, L. F.(org.). Agronomia: pesquisas técnico-científicas no Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas, BA: ESUFRB, 2021. P. 12-140.

GRUBBS, F. E. Procedures for detecting outlying observations in samples. **Technometrics**, v. 11, n. 1, p. 1-21, 1969.

HOLMGREN, M. Combined effects of shade and drought on tulip poplar seedlings: trade-off in tolerance or facilitation?. **Oikos**, v. 90, n. 1, p. 67-78, 2000.

HWANG, O. J.; BACK, K. Melatonin is involved in skotomorphogenesis by regulating brassinosteroid biosynthesis in rice plants. **Journal of pineal research**, v.65, n. 2, 2018.

MIR, A. R.; SIDDIQUI, H.; ALAM, P.; HAYAT, S. Melatonin modulates photosynthesis, redox status, and elemental composition to promote growth of *Brassica juncea*: a dose dependent effect. **Protoplasma**, v. 257, p.1685-1700, 2020.

MIRA-GARCÍA, A. B.; CONEJERO, W.; VERA, J.; RUIZ-SÁNCHEZ, M. C. Effect of water stress and shading on lime yield and quality. **Plants**, v. 12, n. 3, p. 503, 2023.

NASEER, M.A.; HUSSAIN, S.; NENGYAN, Z.; EJAZ, I.; AHMAD, S.; FAROOQ, M.; XIAOLONG, R. Shading under drought stress during grain filling attenuates photosynthesis, grain yield and quality of winter wheat in the Loess Plateau of China. **Journal of Agronomy Crop Science**, v. 208, p. 255-263, 2022.

NAWAZ, M. A., HUANG, Y., BIE, Z., AHMED, W., REITER, R. J., NIU, M., & HAMEED, S. Melatonin: current status and future perspectives in plant science. **Frontiers in plant science**, v.6, p.1230, 2016.

OLIVEIRA, A.; CALDEIRA, D. S. A.; SANTOS, A. A. C.; SILVA, G. F.; VILARINHO, M. K. C. V. Produção de cebolinha cultivada sob telas de sombreamento em Cáceres-MT. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, n. 29, 2019.

PAN, Y., XU, X., LI, L., SUN, Q., WANG, Q., HUANG, H., & ZHANG, J. Melatonin-mediated development and abiotic stress tolerance in plants. **Frontiers in Plant Science**, v.14, p.1100827, 2023.

PHILIPP, E. W.; JUNIOR, A. M.; LUCCHESE, O. A.; FIORIN, G., DE LIMA, R. B.; MIRANDA, A. R. Avaliação de cultivares de rúcula (*Eruca sativa* L.) submetidas á cultivo á pleno sol e sob malha de sombrite. Salão do Conhecimento, v.4, n.4, 2018.

REITER, R. J.; TAN, D. X.; GALANO, A. Melatonin: exceeding expectations. **Physiology**, v. 29, p. 325-333, 2014.

ROSA, D. B. C. J.; SCALON, S. D. P. Q.; DRESCH, D. M. Shading for water stress mitigation in *Copaifera langsdorffii* Desf. seedlings. **South African Journal of Botany**, v. 140, p. 240- 248, 2021.

SANTOS, C. L.; SEABRA JR. S.; GADUM DE LALLA, J.; THEODORO, V. C. A.; NESPOLI, A. Desempenho de cultivares de alface tipo crespa sob altas temperaturas. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 3157-3162, 2009.

SHAFIQ, I.; HUSSAIN, S.; HASSAN, B.; RAZA, A.; AHMAD, I.; ASGHAR, M.A.; WANG, Z.; TAN, T.; LI, S.; TAN, X.; GHAFOOR, A.; MANAF, A.; ANSAR, M.; YANG, F.; YANG, W. Crop responses and management strategies under shade and drought stress. **Photosynthetica**, v. 59, n. 4, p. 664-682, 2021.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6^a ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017. 888p.

TRANI, P. E.; TIVELLI, S. W.; BLAT, S. F.; PRELA-PANTANO, A.; ARAÚJO, H. S.; FELTRAN, J. C.; PASSOS, F. A.; FIGUEIREDO, G. J. B.; NOVO, M. C. S. S. **Couve de folhas: do plantio à colheita**. Campinas: IAC, 2015. 36 p. (Série Tecnológica Apta. Boletim técnico IAC, 214).

TRANI, P. E.; TIVELLI, S. W.; BLAT, S. F.; PRELA-PANTONO, A.; TEIXEIRA, E.P.; ARAUJO, H. S.; FELTRAN, J. C.; PASSOS, F. A.; FIGUEIREDO, G. J. B.; NOVO, M. C. S. S. **Couve de folhas: do plantio à colheita**. Campinas: IAC, 2015. 36 p. (Série Tecnológica Apta. Boletim técnico IAC, 214).

TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 5, p. 99-114, 1949.

VERMA, P.; MALIK, V.; KHAIPER, M. Phytohormonal cross-talk with melatonin in plant. **Scientific Reports**, v.12, p. 115-136, 2023.

WANG, Y.; BIN, H.; XIAO-HUI, ZHANG, Y.; ZHANG, Z.; LU, Z.; LIXIA, L.; LEIPING, H.; JIAN-HUA, L. Transcriptome and hormone analyses reveal that melatonin promotes adventitious rooting in shaded cucumber hypocotyls. **Frontier in plant science**. v. 13, p. 1- 14, 2022.

WEI,W.; QING-TIAN, L.; YA-NAN CHU.; RUSSEL J, R.; XIAO-MIN, Y.; DAN-HUA Z.; WAN-KE, Z.; BIAO, M.; QING LIN.; JIN-SONG, Z.; SHOU-YI, C. Melatonin enhances plant growth and abiotic stress tolerance in soybean plants. **Journal of experimental botany**, v. 66, n.3, p. 699-707, 2015.

ZHANG, T., SHI, Z., ZHANG, X., ZHENG, S., WANG, J., & MO, J. Alleviating effects of exogenous melatonin on salt stress in cucumber. **Scientia Horticulturae**, v.262, p.109070, 2020.

ZHAO, Q.; YUTING, L.; WENBO, S.; YUHAN, T.; XINGQI, H.; JUN, T. Melatonin enhances stem strength by increasing the lignina contente and secondary cell wall thickness in herbaceous peony. **Journal of Experimental Botany** , v. 73, n.17, p.5974-5991, 2022.

CAPÍTULO III

**MELATONINA E NÍVEIS DE SOMBREAMENTO NA PROTEÇÃO DOS
PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS EM COUVE DE FOLHAS**

RESUMO

A agricultura enfrenta desafios climáticos, como as altas temperaturas, que afetam diretamente o desempenho fisiológico das plantas, especialmente a fotossíntese. Diante disso, a utilização de bioestimulantes como a melatonina e o uso de telas de sombreamento tem se destacado como uma estratégia promissora para melhorar a tolerância das plantas ao estresse térmico. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de melatonina em diferentes níveis de sombreamento, buscando compreender seu papel na preservação dos pigmentos fotossintéticos em condições de estresse abiótico. O delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2, sendo considerado para primeiro fator os níveis de sombreamento a pleno sol (controle); 20%; 35%; 50% e 65% de sombreamento e para o segundo fator foi considerado a ausência e presença de melatonina na dose de 50 µM. As plantas foram submetidas à avaliação dos teores de clorofila a, b e carotenoides. Os resultados demonstram que houve diferenças significativas entre clorofila a, b e carotenoides entre os fatores sombreamento, melatonina e pela relação sombreamento e melatonina. A aplicação de melatonina aumentou os teores de clorofila a, b e carotenoides em plantas sob sombreamento, nos níveis de 50% e 65%.

Palavras-chave: Fotossíntese; Fitomelatonina; *Brassica oleracea* var. acephala; ambiente sombreado.

MELATONIN AND SHADING LEVELS IN THE PROTECTION OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN LEAFY CABBAGE

ABSTRACT

Agriculture faces climate challenges, such as high temperatures, which directly affect plant physiological performance, especially photosynthesis. In this context, the use of biostimulants like melatonin and shade nets has emerged as a promising strategy to enhance plant tolerance to heat stress. This study aimed to evaluate the effects of melatonin application under different shading levels, seeking to understand its role in preserving photosynthetic pigments under abiotic stress conditions. The experimental design was completely randomized in a 5 x 2 factorial scheme. The first factor consisted of shaded net levels under full sun (control); 20%; 35%; 50%; and 65% shading, and the second factor considered the absence and presence of melatonin at a dose of 50 µM. The plants were evaluated for chlorophyll *a*, *b*, and carotenoid content. The results showed significant differences in chlorophyll *a*, *b*, and carotenoids for the factors shading, melatonin, and the interaction between shading and melatonin. Melatonin application increased chlorophyll *a*, *b*, and carotenoid levels in shaded plants at 50% and 65% levels.

Keywords: Photosynthesis; Phytomelatonin; *Brassica oleracea* var. acephala; Shading nets.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura moderna enfrenta inúmeros desafios ambientais, incluindo as mudanças climáticas, que representam uma consequência direta à segurança alimentar mundial (Taiz *et al.*, 2017). Aliada à crescente crise climática, a expansão contínua da população mundial e o avanço da urbanização intensificam a pressão sobre os sistemas agrícolas (Xu *et al.*, 2022). A exposição às condições de estresse luminoso e térmico resultam em menor produtividade, em razão da taxa de desenvolvimento e respiração na planta. (Webber *et al.*, 2019).

Embora as plantas possuam mecanismos de defesa naturais, eles não são suficientes para evitar os danos causados, principalmente pela alta luminosidade, exigindo estratégias adicionais para promover a tolerância ao estresse. Sob condições de alta luminosidade, as plantas fecham os estômatos, limitando a transpiração. No entanto, essa estratégia restringe a entrada de CO₂, afetando a fotossíntese. Além disso, a absorção contínua de luz pode gerar excesso de energia nas células, levando à fotoinibição se não for dissipada (Tribulato *et al.*, 2019; Shafiq *et al.*, 2020; Back *et al.*, 2016).

A Couve de folhas (*Brassica oleracea* var. *acephala*), pertencente ao grupo de plantas C3, necessita de um ambiente úmido e com temperaturas amenas para seu pleno desenvolvimento. Plantas do tipo C3, em condições de extremo calor e luminosidade, fecham os estômatos durante o dia para evitar a perda de água, além de aumentar a concentração de CO₂ fixado pela Rubisco. Assim, com o aumento da concentração de CO₂ atmosférico ocorre uma redução na fotorrespiração das plantas, por promover a carboxilação e diminuir a oxigenação da enzima Rubisco (Taiz *et al.*, 2017).

As principais técnicas de cultivo de hortaliças no Brasil são as de cultivo a céu aberto, ambiente protegido e cultivo hidropônico, sendo utilizadas de acordo com o nível técnico do produtor e a capacidade de maximizar a produção. O cultivo em ambientes protegidos tem revolucionado a produção de hortaliças, possibilitando condicionar microclimas a partir das necessidades das plantas, estendendo o período de produção para todas as épocas do ano (Viera; Clemente, 2018).

A aplicação exógena de melatonina tem sido uma estratégia eficaz para a proteção das plantas, auxiliando na preservação dos pigmentos fotossintéticos e na regulação dos fotossistemas (Yang *et al.*, 2021). A degradação da clorofila, um dos principais marcadores de senescência, pode ser atenuada pela melatonina, conforme relatado por diversos

estudos que evidenciam o aumento no teor de clorofila induzido pela melatonina (Liu *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2024; Yang *et al.*, 2023).

Na literatura, numerosos estudos têm explorado os impactos da melatonina (Oliveira *et al.*, 2024; Spolaor *et al.*, 2024; Yang *et al.*, 2022) e sombreamento (Nascimento *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2011) no cultivo de diversas espécies. No entanto, há uma escassez de estudos relacionados a combinação sinérgica entre o sombreamento e a melatonina. Diante disso, este estudo objetivou avaliar os efeitos da melatonina e dos níveis de sombreamento na preservação dos pigmentos fotossintéticos em couve de folhas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em telado, localizada na horta da Universidade Federal do Acre, Campus Sede, localizada no município de Rio Branco, Acre, nas seguintes coordenadas geográficas $9^{\circ} 57' 35''$ S e longitude de $67^{\circ} 52' 08''$, no período de Janeiro a Abril de 2024. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Am, quente e úmido, com médias anuais de temperatura de $24,5^{\circ}\text{C}$, umidade relativa do ar de 85% e precipitação anual de 1.700 mm a 2.400 mm (Inmet, 2022). Como planta teste foi utilizada a couve de folhas (*Brassica oleracea* var. *acephala*) cultivar manteiga, com ciclo médio de 90-100 dias.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 5×2 , com cinco repetições, totalizando 10 tratamentos e 50 unidades, as quais constituíram-se de vasos de polipropileno de cor preta, com diâmetro e altura de 17,5 cm, perfazendo volume de 5L. Os fatores corresponderam à níveis de sombreamento, sendo a: pleno sol (controle); 20%; 35%; 50% e 65% (APÊNDICE F); para o segundo fator foi considerado a ausência e presença de melatonina na dose de 50 μM .

Para caracterização no interior dos ambientes sombreados, foram realizadas medições da Radiação fotossinteticamente ativa (PAR), utilizando-se o aparelho analisador de gás no infravermelho – IRGA (LI-64000 XT, LI-COR Inc., CA, EUA), sendo: 1950 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 1050 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 750 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 760 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente.

O substrato utilizado para produção das mudas foi o comercial meplant®. Os atributos químicos e físicos do substrato comercial apresentados na instalação do experimento foram: pH = 5,6; P = 2,09 mg.L⁻¹; K = 112,0 mg.L⁻¹; Ca = 122,0 mg.L⁻¹; Mg = 44,8; S = 134,0 mg.L⁻¹; B = 0,08 mg.L⁻¹; Cu = 0 mg.L⁻¹; Fe = 0 mg.L⁻¹; Mn = 0,60 mg.L⁻¹; Na = 37,0 mg.L⁻¹ e Físicos: D.a = 269,0 Kg.m⁻³; C.R.A = 249,36 %; C.E = 0,639 Mili.Scm⁻¹.

Foram utilizadas mudas produzidas em bandejas de isopor de 128 células, nas quais foi introduzida três sementes por célula. O desbaste foi realizado oito dias após a semeadura das sementes na bandeja mantendo-se a planta considerada mais vigorosa por célula. Aos 20 dias, quando as plântulas apresentavam dois pares de folhas definitivas, foram transplantadas da bandeja para copos descartáveis preenchidos com o substrato comercial. Aos 35 dias, quando as plântulas apresentavam 6 folhas

definitivas, foi efetuado o transplante das mudas para os vasos de 5 litros (APÊNDICE E).

As irrigações foram efetuadas diariamente no período da manhã e final da tarde, sempre verificando a necessidade de manutenção dos níveis adequados de umidade do substrato.

A solução de melatonina foi preparada dissolvendo-se a melatonina em 1L de água destilada para obtenção da dose de 50 µM, e em seguida, pulverizadas sobre as plantas, cobrindo todas as folhas até o ponto de escorrimento. No grupo controle (ausência de MEL), apenas água destilada foi pulverizada nas folhas (APÊNDICE H).

A aplicação dos tratamentos teve início na oitava semana pós transplantes das mudas, sendo realizada durante quatro semanas seguidas. A melatonina, por ser uma molécula fotossensível, teve seu armazenamento em ambiente escuro e o período de aplicação nas plantas definido foi ao final da tarde, com o objetivo de preservar sua integridade e estabilidade (Hwang *et al.*, 2018; Kolar *et al.*, 1997).

As avaliações foram realizadas aos 100° dias após o transplantio. Foram consideradas oito folhas para fins de avaliação de clorofila *a*, *b* e carotenoides.

Para avaliação dos pigmentos fotossintéticos foram adicionados pequenos fragmentos de 50 mg de couve folha em tubos de ensaio, envoltos em papel alumínio, para proteção da luz, contendo 7 mL de acetona a 80%. Os tubos foram colocados a uma temperatura de 4°C durante 48h para extração dos pigmentos. Após a extração, foi efetuada a leitura da absorbância em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 663 nm, 647 nm e 470 nm. Para determinação dos teores de clorofilas e carotenoides foram empregadas as equações de Litchenthaler e Welburn (1983): Clorofila *a* = (12,21 x A663 – 2,81 x A647); Clorofila *b* = (20,13 x A647 – 5,03 x A663) e Carotenoides = (1000 x A470 – 3,27 x [clorofila *a*] – 104 x [clorofila *b*] / 229).

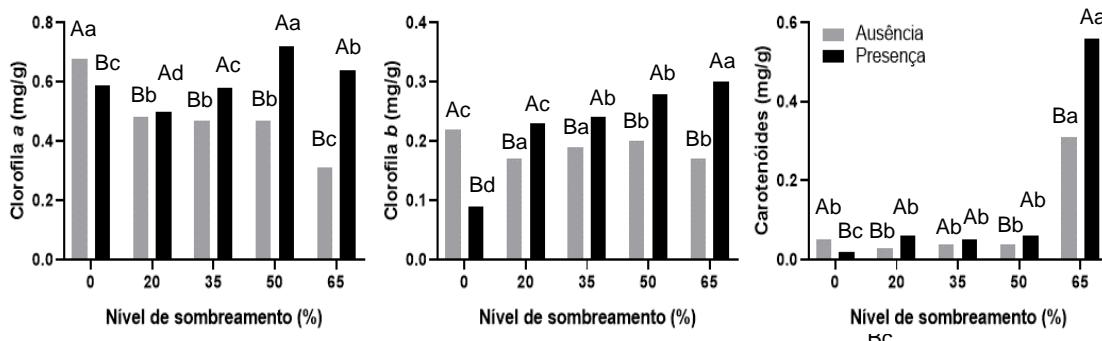
Os dados coletados foram submetidos a verificação de dados discrepantes (outliers) pelo teste de Grubbs (1969), de normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk (1965) e de homogeneidade das variâncias pelo teste de Cochran (1941). Posteriormente efetuou-se análise de variância pelo teste F, constatando-se significância estatística, foram realizadas comparações de médias pelo teste de Tukey (1949) a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico Sisvar® (Ferreira, 2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ocorreu interação significativa entre os fatores de utilização de sombreamento e aplicação de melatonina em todas as variáveis analisadas ($p<0,05$) (APÊNDICE B). As variáveis foram reduzidas na ausência de melatonina. Em geral, as variáveis foram reduzidas na ausência de melatonina e apresentaram efeitos distintos com o aumento do sombreamento.

As folhas das plantas em pleno sol e na ausência de melatonina apresentaram teor de clorofila a elevado, com um aumento de 15,25% quando comparadas com as plantas a pleno sol na presença de melatonina (Figura 3). A clorofila a está presente nos dois tipos de complexo clorofila-proteína que atuam diferentemente sob altas luminosidades, que neste caso como a degradação da clorofila b é mais difícil, há um aumento relativo da clorofila a em plantas (Thornber, 1975).

Figura 3 - Teor de clorofila a (A), b (B) e carotenoides (C) em couve folha na presença e ausência de melatonina sob níveis de sombreamento. Rio Branco, AC, 2024.



*Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem ($p>0,05$) entre si pelo teste de Tukey em relação ao sombreamento dentro da melatonina. Médias seguidas de mesma letra maiúscula, não diferem ($p>0,05$) entre si pelo teste de Tukey em relação a melatonina dentro do sombreamento.

As plantas da família *Brassicaceae*, como a couve, geralmente apresentam alta exigência por luminosidade e tendem a responder de forma positiva a condições de alta luminosidade. No entanto, é importante ressaltar que elas também podem se adaptar a ambientes com sombreamento parcial, desde que haja um equilíbrio adequado entre luz, água e nutrientes (Larcher, 2003).

Assim, o aumento do teor de clorofila a e b em pleno sol na ausência de melatonina é resposta de fatores fisiológicos e adaptativos de plantas com metabolismo C3. Logo, essas plantas expostas a pleno sol produzem maiores quantidades de clorofila a e b para otimizar a absorção de luz e maximizar a fotossíntese. Desta forma, a energia

produzida por ela para as atividades metabólicas que culminam em produção, passa a ser destinada à proteção dos fatores estressantes e danos fotossintéticos (Taiz *et al.*, 2017; Sperdouli *et al.*, 2021).

A radiação solar pode influenciar no desenvolvimento final das plantas, podendo aumentar a produção e disponibilidade de fotoassimilados. Porém, quando a luminosidade é excessivamente elevada, a taxa transpiratória da planta é afetada resultando em fechamento estomático, diminuição da fotossíntese e foto-oxidação das folhas, ocasionando a desidratação e morte das células vegetais (Taiz *et al.*, 2017; Gama *et al.*, 2017). A couve de folhas apresenta certa tolerância à sombra, especialmente quando cultivada em condições de sombreamento parcial, adaptando-se com o aumento da área foliar e conteúdo de clorofila para capturar melhor a luz disponível (Barbosa *et al.*, 2021).

A aplicação de melatonina promoveu aumentos significativos nos teores de clorofila *a* e *b* em plantas cultivadas sob sombreamento, especialmente nos níveis de 50% e 65% (Figura 3A e 3B). Pois a melatonina desempenha um papel importante na adaptação de plantas a ambientes com baixa luminosidade, consistente com estudos que relatam sua função moduladora do estresse térmico em plantas sob condições adversas (Liu *et al.*, 2022; Arnao & Hernández-Ruiz, 2019; Sun *et al.*, 2020).

A clorofila *a*, apresentou nas plantas sob sombreamento moderado (35%) e intenso (50% e 65%) maiores teores na presença de melatonina. A melatonina tem função antioxidante, que protege as estruturas fotossintéticas contra o estresse oxidativo, induzido pelo baixo nível de radiação solar, onde a planta precisa maximizar a captura de luz (Zhao *et al.*, 2017).

Plantas a pleno sol e sob 20% de sombreamento apresentaram menores concentrações de clorofila *a* na presença de melatonina, possivelmente devido à regulação fotoprotetora das plantas em condições de alta luminosidade, onde há maior risco de acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS). Nesse contexto, a degradação ou redução dos níveis de clorofila pode ser um mecanismo adaptativo para evitar o excesso de energia absorvida e minimizar danos oxidativos.

Elevados teores de clorofila *a* e clorofila *b* são esperados em plantas sob baixa intensidade luminosa. A planta tende a produzir mais clorofila para compensar a menor quantidade de luz, otimizando a captação de energia disponível para a fotossíntese (Umesh *et al.*, 2022). Sob 20% de sombreamento, a quantidade de clorofila pode ser

menor em comparação aos níveis mais altos de sombreamento, pois a luz disponível é mais abundante, e a planta não precisa sintetizar tantos pigmentos para captar a energia necessária (Kaur *et al.*, 216). Esses resultados são consistentes com os observados no presente trabalho, no qual os sombreamentos de 50% e 65% propiciaram os maiores teores de clorofila *a* e *b*.

Em condições normais, a melatonina é geralmente mantida em um nível constante em plantas. Porém, em condições de estresse, como alta temperatura e intensidade luminosa, as enzimas de biossíntese da fitomelatonina são fortemente estimuladas (Sun *et al.*, 2020). De acordo com Wei *et al.* (2015) o conteúdo de clorofila *a* e *b* aumenta na presença de melatonina na dose 50 e 100 µM em plantas de soja. Da mesma forma, em *Brassica Juncea* a aplicação de 40 e 50 µM provou ser responsável pela redução de ROS ao aumentar as atividades enzimáticas e promover uma menor degradação dos pigmentos fotossintéticos.

Em tomate, plantas que foram submetidas ao tratamento com melatonina na dose de 50 µM conseguiram manter o conteúdo de clorofila foliar nas folhas e, portanto, foram responsáveis pela maior inibição da degradação em altas temperaturas e luminosidade (Jahan *et al.*, 2021). O papel da melatonina no aumento da clorofila já foi demonstrado em outras espécies, como *Arabidopsis*, maçã, arroz, pepino, cereja e trigo em condições normais e de estresse (Kang *et al.*, 2010; Sarropoulou *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2013, 2016; Zuo *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2018).

A degradação de clorofila *a* e *b* é indicativo de estresses e podem resultar em menores taxas fotossintéticas devido à fotoinibição. No entanto, algumas plantas conseguem se adaptar em ambientes sombreados. Um fator importante que pode contribuir para essa adaptação é a dissipação de energia através do ciclo da xantofila, resultando em menor geração ROS (Anjos *et al.* 2015; Wu *et al.*, 2018; Lopes *et al.*, 2019). A melatonina atua junto ao ciclo das xantofilas, é responsável por proteger as proteínas fotossintéticas, melhorando a transcrição dos genes do fotossistema e diminuição de ROS (Liu *et al.*, 2022).

O estresse luminoso pode alterar o status redox, induzindo o acúmulo de ROS e causando danos peroxidativos às membranas. O tratamento exógeno de plantas com melatonina, pode aumentar a atividade das enzimas antioxidantes SOD (Superóxido dismutase); CAT (Catalase); APX (Ascornato peroxidase) e GR

(Glutationa Redutase), reduzindo assim os níveis de ROS e a peroxidação lipídica (Turk *et al.*, 2014).

Além da preservação da clorofila, a melatonina auxilia na interação dos estômatos com o ácido abscísico (ABA), levando ao fechamento estomático, o que auxilia a tolerância ao estresse luminoso (Chen *et al.*, 2020). Sob sombreamento, a melatonina pode melhorar a eficiência no uso de água, otimizando a abertura estomática para que as plantas absorvam CO₂ de forma mais eficaz, sem perder água, o que é importante em condições de menor radiação. Além de estimular a síntese de óxido nítrico (NO), um composto que participa do controle do fechamento dos estômatos, em situações de estresse (Kuar; Bhatla, 2016).

Para a clorofila *b*, a melatonina teve um efeito significativo em baixa luminosidade (50 e 65% de sombreamento), o que pode estar relacionado à maior demanda por absorção de luminosidade em ambientes mais sombreados. A clorofila *b* é conhecida por sua função na extensão do espectro de absorção de luz, particularmente em condições de baixa luminosidade (Lichtenthaler, 1987).

A elevação dos níveis de clorofila *b* sugerem que a melatonina contribui para a eficiência do aparato fotossintético em ambientes onde a radiação fotossinteticamente ativa é limitada. Estudo realizado por Ayyaz *et al.* (2020), ao avaliar plantas de *Brassica napus* L. sob estresse, constataram que a aplicação 5 e 10 µM de melatonina promoveu o aumento de clorofila *a* e *b*, além de melhorar a estabilidade estrutural e eficiência do fotossistema II.

Os teores de carotenoides foram significativamente maiores na presença de melatonina em baixa luminosidade, especialmente com 65% de sombreamento (Figura 2C). Embora se esperasse uma redução nesses teores devido à menor necessidade de proteção contra a luz excessiva, esse resultado sugere que a melatonina pode estimular a síntese de carotenoides. Além de auxiliarem na dissipação de energia excedente, esses pigmentos atuam como antioxidantes, contribuindo para mitigar o estresse oxidativo em condições de sombreamento intenso (Zhang *et al.*, 2022)."

Em condições de alta luminosidade, os carotenoides são mais abundantes e atuam principalmente na prevenção da fotooxidação das clorofilas, protegendo o aparato fotossintético (Hashimoto *et al.*, 2016). Por outro lado, em ambientes de baixa luminosidade, eles funcionam como pigmentos acessórios, auxiliando na captação de luz e na sua transferência para as clorofilas, otimizando a eficiência fotossintética. Portanto, o aumento dos teores de carotenoides sob sombreamento,

especialmente na presença de melatonina, reflete uma estratégia adaptativa das plantas para maximizar a captação de luz e proteger-se contra o estresse oxidativo, mesmo sob baixa disponibilidade luminosa.

Mudanças na composição de pigmentos dos tecidos fotossintéticos podem ocorrer como resultado de uma adaptação ao sol/sombra. Thayer e Bjorkman (1990) examinaram plantas tolerantes ao sol e à sombra e descobriram que o tamanho do pool de carotenoides do ciclo das xantofilas (violaxantina + anteraxantina + zeaxantina) era até 4 vezes maior nas espécies tolerantes ao sol. A melatonina exógena pode atenuar a fotoinibição e aumentar a produção dos pigmentos xantofilínicos, limitando os danos celulares induzidos pelo estresse abiótico (Ding *et al.*, 2018; Ding *et al.*, 2017).

O presente estudo sugere que a melatonina pode modular a adaptação fotossintética de plantas sob sombreamento, aumentando a eficiência na captura de luz e protegendo contra danos oxidativos. Seu uso, tanto em condições de alta quanto de baixa luminosidade, mostra-se promissor para proteger o aparelho fotossintético da cobertura de folhas. A melatonina atua como uma primeira linha de defesa contra o estresse oxidativo, presente em diversas condições ambientais adversas. Estudos futuros podem avaliar sua aplicação em outras hortaliças sob sombreamento, melhorar a produtividade e a qualidade das plantas. A melatonina também pode ser explorada como bioestimulante para fortalecer plantas com genes anti-senescênci a e melhorar a fotossíntese, sendo essencial para validar seus efeitos.

4 CONCLUSÕES

A aplicação exógena de melatonina aumenta os teores de clorofila *a* e *b* em plantas sob sombreamento, nos níveis de 50% e 65%. O teor de carotenoides aumenta em plantas sob sombreamento no nível de 65%.

REFERÊNCIAS

- ABADE, M. T. R.; KLOSOWSKI, E. S.; ROCHA, M. E. L.; COUTINHO, P. W. R.; SOUZA, F. L. B. de; BARABASZ, R. F. Morfometria de cultivares de rúcula sob telas de sombreamento e pleno sol na primavera. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 27, n.1, p.217-226, 2019.
- AGOSTINI-COSTA, T. D. S.; WONDRACECK, D. C.; ROCHA, W. D. S.; SILVA, D. B. D. Carotenoids profile and total polyphenols in fruits of *Pereskia aculeata* Miller. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 1, p. 234-238, Mar. 2012.
- AYYAZ, A. A. M.; UMER, S.; IQBAL, M.; BANO, H.; GUL, HS.; FAROOQ, MA. Alterações induzidas por melatonina na eficiência fotossintética, conforme sondado por OJIP, associadas à tolerância melhorada ao estresse de cromo em canola (*Brassica napus* L.). **Heliyon**, v.6, n.7, 2020.
- BACK, K.; TAN, D. X.; REITER, R. J. Melatonin biosynthesis in plants: multiple pathways catalyze tryptophan to melatonin in the cytoplasm or chloroplasts. **Journal of Pineal Research**, v.61, n.4, p.426-437, 2016.
- CHEN, K.; LI, G. J.; BRESSAN, R. A.; SONG, C. P.; ZHU, J. K.; ZHAO, Y. Abscisic acid dynamics, signaling, and functions in plants. **Journal of integrative plant biology**, v.62, n.1, p.25-54, 2020.
- COCHRAN, W. G. The distribution of the largest of a set of estimated variances as a fraction of their total. **Annals of Eugenics**, v. 11, n. 1, p. 47-52, 1941.
- DING, F.; WANG, M.; LIU, B.; ZHANG, S. Exogenous melatonin attenuates photoinhibition by accelerating non-photochemical quenching in tomato seedlings exposed to moderate light during chilling. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017.
- DING, W.; ZHAO, Y.; XU, J.; ZHAO, P.; LI, T.; MA, H.; REITER, R.; YU, X. Melatonin: a multifunctional molecule that triggers defense responses against high light stress and nitrogen starvation in *Haematococcus pluvialis*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 29, p. 7701-7711, 2018.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR**. Versão 5.6 (Build 86). Lavras: Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Exatas, 2010.
- GAMA, D. R. D. S.; MESQUITA, A.C.; YURI, J. E.; FERREIRA, K. M.; SOUZA, V. Impacto dos diferentes ambientes de sombreamento no crescimento e produtividade de três cultivares de minitormentas. **Revista Caatinga**, v.30, n.2, p.324-334, 2017.
- GRUBBS, F. E. Procedures for detecting outlying observations in samples. **American Society for Quality**, v. 11, n. 1, p. 1-21, 1969.
- HASHIMOTO, H.; URAGAMI, C.; COGDELL, R. J. Carotenoids and photosynthesis. In: **Carotenoids in Nature**. Springer, p. 111-139. 2016.

HWANG, O. J.; BACK, K. Melatonin is involved in skotomorphogenesis by regulating brassinosteroid biosynthesis in rice plants. **Journal of pineal research**, v. 65, n. 2, 2018.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br>. Acesso em: 28 ago. 2024.

JAHAN, M.S.; GUO, S.; SUN, J.; SHU, S.; WANG, Y.; ABOU EL-YAZIED, A.; HASAN, M.M. Melatonin-mediated photosynthetic performance of tomato seedlings under high-temperature stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 167, p.309-320, 2021.

KANG, K.; LEE, K.; PARK, S.; KIM, Y.S.; BACK, K. Enhanced production of melatonin by ectopic overexpression of human serotonin N-acetyltransferase plays a role in cold resistance in transgenic rice seedlings. **J. Pineal Res.** v. 49, p.176-182, 2010.

KAUR, H.; BHATLA, S. C. Melatonin and nitric oxide modulate glutathione content and glutathione reductase activity in sunflower seedling cotyledons accompanying salt stress. **Nitric oxide**, v. 59, p. 42-53, 2016.

KOLAR, J.; MACHACKOVA, I.; EDER, J.; PRINSEN, E.; VAN DONGEN, W.; VAN ONCKELEN, H.; ILLNEROVA, H. Melatonin: occurrence and daily rhythm in *Chenopodium rubrum*. **Phytochemistry**, v. 44, n. 7, p.1407-1413, 1997.

LARCHER, Walter. **Ecologia fisiológica de plantas: ecofisiologia e fisiologia do estresse de grupos funcionais** . Springer Science & Business Media, 2003.

LI, X.; BRESTIC, M.; TAN, D.X.; ZIVCAK, M.; ZHU, X.; LIU, S.; SONG, F.; REITER, R.J.; LIU, F. Melatonin alleviates low PSI-limited carbon assimilation under elevated CO₂ and enhances the cold tolerance of offspring in chlorophyll b-deficient mutant wheat. **J. Pineal Res.** v. 64, p.12453, 2018.

LICHTENTHALER, H. K.; WELLBURN, A. R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, p. 591-592, 1983.

LIU, K.; JING, T.; WANG, Y.; AI, X.; BI, H. Melatonin Delays Leaf Senescence and Improves Cucumber Yield By Modulating Chlorophyll Degradation and Photoinhibition of PSII and PSI. **Environmental and experimental botany**, v. 200, p.104915, 2022.

NASCIMENTO, A. S.; SILVA, R. H.; MORAES ECHER, M.; COUTINHO, P. W. R.; KLEIN, D. K. Desempenho produtivo e bioquímico de alface crespa sob diferentes ambientes de cultivo. **Scientia Plena**, v.17, n.11, 2021.

OLIVEIRA, P.H.A.; SÁ, S.A.; RIBEIRO,J.E.S.; SILVA, J.P.P.; LIMA, F. F. L.; SILVA, I. B. M.; SILVEIRA, L. M.; JUNIOR, A. P .B Exogenous application of melatonin mitigates salt stress in soybean. **Revista Caatinga**, v. 38, p. e12698, 2024.

SARROPOULOU,V.; DIMASSI-THERIOU, K.; THERIOS, I. M. Melatonin enhances root regeneration, photosynthetic pigments, biomass, total carbohydrates and proline content in the cherry rootstock PHL-C (*Prunus avium*×*Prunus cerasus*). **Plant Physiol. Bioch.** v. 61, p.162-168, 2012.

SHAFIQ, I.; HUSSAIN, S.; HASSAN, B.; RAZA, A.; AHMAD, I.; ASGHAR, M.A.; WANG, Z.; TAN, T.; LI, S.; TAN, X.; GHAFOR, A.; MANAF, A.; ANSAR, M.; YANG, F.; YANG, W. Crop responses and management strategies under shade and drought stress. **Photosynthetica**, v. 59, n. 4, p. 664-682, 2021.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 4, p. 591-611, 1965.

SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SILVA, J. S.; FERREIRA, D. dos R. Teores de pigmentos fotossintéticos, taxa de fotossíntese e estrutura dos cloroplastos de plantas jovens de *Mikania laevigata* Schultz bip. Ex baker (guaco) cultivadas sob malhas coloridas. **Enciclopédia biosfera**, v. 7, n.12, p.1-14, 2011.

SPOLAOR, B.O.R. **Aplicação de melatonina sobre algodoeiro submetido a regime de alta temperatura**. 2022.

SUN, C.; LV, T.; HUANG, L.; LIU, X.; JIN, C.; LIN, X. Melatonin ameliorates aluminum toxicity through enhancing aluminum exclusion and reestablishing redox homeostasis in roots of wheat. **J. Pineal Res.** v. 68, p.12642, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 888p, 2017.

THORNBER, J.P. Chlorophyll-proteins: light-harvesting and reaction center components of plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 26, p.127-58, 1975.

TRIBULATO, A.; TOSCANO, S.; DI LORENZO, V.; ROMANO, D. Effects of Water Stress on Gas Exchange, Water Relations and Leaf Structure in Two Ornamental Shrubs in the Mediterranean Area. **Agronomy**, v. 9, n. 7, p. 381, 2019.

TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. **International Biometric Society**, v. 5, n. 2, p. 99-114, 1949.

VIEIRA, D. F. A.; CLEMENTE, F. M. V. T. Harvest expedition on protected cultivation: characterization and prospective study of the challenges and solutions associated with the protected cultivation of vegetable crops. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n.4, p. 431-438, 2018.

WANG, P.; SUN, X.; LI, C.; WEI, Z.; LIANG, D.; MA, F. Long-term exogenous application of melatonin delays drought-induced leaf senescence in apple. **J. Pineal Res.**v.54, p.292-302, 2013.

WANG, Y.; JING, T.; LIU, X.; AI, X.; BI, H. Melatonin modulates photosynthesis of senescent leaves in tomato. **Horticulture advances**, v.2, n.1, 2024.

WEBBER, H.; EWERT, F.; OLESEN, J. E.; MÜLLER, C.; FRONZEK, S.; RUANE, A. C.; BOURGAULT, M.; MARTRE, P.; ABABAEI, B.; BINDI, M.; FERRISE, R.; FINGER, R.; FODOR, N.; GABALDÓN-LEAL, C.; GAISER, T.; JABLOUN, M.; KERSEBAUM, K.-C.; LIZASO, J. I.; LORITE, I. J.; MANCEAU, L.; MORIONDO, M.; NENDEL, C.; RODRÍGUEZ, A.; RUIZ RAMOS, M.; SEMENOV, M. A.; SIEBERT, S.; STELLA, T.; STRATONOVITCH, P.; TROMBI, G.; WALLACH, D. Diverging importance of drought stress for maize and winter wheat in Europe. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2018.

XU, Q. MA, X.; LV, T.; BAI, M.; WANG, Z.; NIU; J. Effects of Water Stress on Fluorescence Parameters and Photosynthetic Characteristics of Drip Irrigation in Rice. **Water**, v. 12, n. 1, p. 289, 2020.

YANG, K.; SUN, H.; LIU, M.; ZHU, L.; ZHANG, K.; ZHANG, Y.; LI, A.; ZHANG, H.; ZHU, J.; XIAOQING, L.; BAI, Z.; LIU, L.; LI, C. Morphological and Physiological Mechanisms of Melatonin on Delaying Drought-Induced Leaf Senescence in Cotton. **International journal of molecular sciences**, v. 24, n. 8, p. 7269, 2023.

YANG, S.; ZHAO, Y.; QIN, X.; DING, C.; YANGER, C.; Z, T.; YAN, H.; RUSSEL, J. R.; SHU, Y.; MING, Y. New insights into the role of melatonin in photosynthesis, **Journal of Experimental Botany**, v.73, n.17, p.5918–5927, 2022.

ZHANG, H.; ZHU, J.; GONG, Z.; ZHU, J. K. Abiotic stress responses in plants. **Nature Reviews Genetics**, v. 23, n. 2, p. 104-119, 2022.

ZUO, B.; ZHENG, X.; HE, P.; WANG, L.; LEI, Q.; FENG, C.; ZHOU, J.; LI, Q.; HAN, Z.; KONG, J. Overexpression of MzASMT improves melatonin production and increases drought tolerance in transgenic *Arabidopsis thaliana* plants. **J. Pineal Res.** v. 57, p. 408-417, 2014.

CAPÍTULO IV

MELATONINA NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DA COUVE DE FOLHAS

RESUMO

A couve de folhas tem ganhado destaque na alimentação brasileira devido às suas propriedades nutracêuticas e econômicas. No entanto, sua perecibilidade é um desafio no período pós-colheita. A melatonina tem sido estudada como alternativa para melhorar a durabilidade e a qualidade pós-colheita de vegetais. O objetivo do trabalho foi avaliar a vida útil em pós-colheita da couve de folhas em aplicação de melatonina. O experimento na Unidade de Tecnologia de Alimentos (UTAL) localizado na Universidade Federal do Acre, em Rio Branco, Acre. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 2, totalizando oito tratamentos, 5 repetições e 40 unidades experimentais. Os fatores corresponderam à quatro doses de melatonina (controle, 50, 100 e 150 µM) e dois tempos de avaliação pós colheita (0 e 5 dias). Foram avaliados acidez titulável, teor de vitamina C, sólidos solúveis, clorofila a, b, carotenoides e clorofila total. A acidez titulável, teor de sólidos solúveis e vitamina C foram influenciadas pelas doses de melatonina e tempos de avaliação, assim como pela interação destes dois fatores. A aplicação de melatonina, em 100 e 150 µM é eficaz na preservação da qualidade e pós-colheita da couve de folhas.

Palavras-chave: Tempo de prateleira; Senescência; *Brassica oleracea* var. acephala; Fitomelatonina.

MELATONIN IN THE POST-HARVEST CONSERVATION OF KALE

ABSTRACT

Kale has gained prominence in the Brazilian diet due to its nutraceutical and economic properties. However, its perishability is a challenge in the post-harvest period. Melatonin has been studied as an alternative to improve the durability and post-harvest quality of vegetables. Therefore, the objective of the work was to evaluate the shelf life of kale through the application of melatonin treatments, analyzing parameters of nutritional quality and conservation of vegetable products. The experiment was carried out in the experimental garden, in the Vegetable and Fruit Culture Laboratory and in the Food Technology Unit (UTAL) located at the Federal University of Acre, in Rio Branco, Acre. The experimental design used was completely randomized, in a 4 x 2 factorial scheme. The factors corresponded to four doses of melatonin (control, 50, 100 and 150 µM) and two post-harvest evaluation times (0 and 5 days). Titratable acidity, soluble solids content and vitamin C were influenced by melatonin doses and evaluation times, as well as by the interaction of these two factors. Photosynthetic parameters were not significantly influenced. The results of this study revealed that the application of melatonin, especially at higher doses (100 and 150 µM), were effective in preserving the post-harvest quality of kale.

Keywords: Senescence; *Brassica oleracea* var. *acephala*; Phytomelatonin.

1 INTRODUÇÃO

A couve de folhas (*Brassica oleracea* var. *acephala*), é destaque na dieta dos brasileiros, não apenas pela sua versatilidade culinária, mas também pelas recentes descobertas científicas que comprovam suas propriedades nutracêuticas. Rica em vitaminas, carotenoides, compostos fenólicos e antioxidantes, proporcionando assim inúmeros benefícios à saúde, incluindo prevenção de doenças crônicas e o fortalecimento do sistema imunológico (Novo *et al.*, 2010).

No entanto, apesar de sua importância, a perecibilidade de suas folhas ainda é um fator crítico no período pós-colheita, especialmente devido à baixa durabilidade em prateleira, alta taxa de deterioração das folhas, ocasionada pela perda de turgor e contaminação por microrganismos, principalmente em condições inadequadas de armazenamento e refrigeração (Lalpeklhua *et al.*, 2024; Xu *et al.*, 2019; Zheng *et al.*, 2023).

Nesse contexto, a melatonina (N-acetil-5-metoxitriptamina), uma molécula indólica derivada do triptofano, tem surgido como uma alternativa para o manejo pós-colheita de frutas e verduras (Lerner *et al.*, 1957). Diversos trabalhos têm sido conduzidos para compreender melhor o papel da melatonina na fisiologia vegetal (Arnao; Hernandez, 2022). Ainda, é comprovado que a melatonina influencia em quase todas as respostas das plantas, atuando em processos como germinação, crescimento, floração, defesa contra patógenos e regulação da fotossíntese (Altaf *et al.*, 2021; Ali *et al.*, 2023; Zheng *et al.*, 2019).

Pesquisas atuais indicam que a melatonina pode ser uma alternativa ao uso de produtos químicos utilizados na preservação pós-colheita (Jayarajan *et al.*, 2021). Evidências sugerem o papel da melatonina exógena na regulação dos aspectos bioquímicos e fisiológicos em plantas pós-colheita, retardando a senescência, (Arnao; Hernandez, 2022; Arnao; Hernandez, 2018) mantendo a qualidade nutricional das plantas (Zhang *et al.*, 2018), inibindo o escurecimento foliar (Tan; Reiter, 2019) e reduzindo a degradação fisiológica (Arnao; Hernandez, 2015; Arnao; Hernandez, 2022; Altaf *et al.*, 2021; Miao *et al.*, 2020).

Logo, a utilização de melatonina em couve de folhas pode ser uma alternativa na preservação das folhas recém-colhidas durante o transporte e armazenamento (Wu *et al.*, 2021; Arnao; Hernandez, 2022; Altaf *et al.*, 2021). Algumas pesquisas avaliando o potencial da melatonina na preservação pós-colheita já foram realizadas em algumas

espécies, como em brócolis (Cano *et al.*, 2022); pimentão (Ahamad *et al.*, 2024); couve chinesa (Yue *et al.*, 2023); quiabo (Shi *et al.*, 2024) e tomate (Altaf *et al.*, 2024). No entanto, há uma escassez de estudos relacionados a dosagem de melatonina recomendada para conservação de folhas na espécie deste estudo.

Contudo, considerando o potencial da melatonina como agente de conservação pós-colheita, o objetivo deste trabalho foi avaliar a vida útil pós-colheita da couve de folhas em aplicação de melatonina.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As análises de pós-colheita foram realizadas na Unidade de Tecnologia de Alimentos (UTAL) da Universidade Federal do Acre, em Rio Branco, Acre, no período de março a junho de 2024. Foi utilizada como planta teste a couve de folhas (*Brassica oleracea* var. *acephala*) cultivar manteiga, com ciclo médio de 90-100 dias.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 2 em 5 repetições, totalizando 8 tratamentos e 40 unidades experimentais. Os fatores corresponderam à quatro doses de melatonina (controle, 50, 100 e 150 µM) e dois tempos de avaliação pós colheita (0 e 5 dias).

Na produção das mudas foi utilizado substrato comercial Mecplant®. Os atributos químicos e físicos do substrato comercial apresentados na instalação do experimento. Químicos: pH = 5,6; P = 2,09 mg.L⁻¹; K = 112,0 mg.L⁻¹; Ca = 122,0 mg.L⁻¹; Mg = 44,8; S = 134,0 mg.L⁻¹; B = 0,08 mg.L⁻¹; Cu = 0 mg.L⁻¹; Fe = 0 mg.L⁻¹; Mn = 0,60 mg.L⁻¹; Na = 37,0 mg.L⁻¹ e Físicos: D.a = 269,0 Kg.m⁻³; C.R.A = 249,36 %; C.E = 0,639 Mili.Scm⁻¹.

As mudas foram produzidas em bandejas de isopor de 128 células, contendo substrato comercial, utilizando-se 3 sementes por célula. O desbaste foi realizado 8 dias após a semeadura das sementes na bandeja mantendo-se a planta considerada mais vigorosa por célula. Aos 20 dias, quando as plântulas apresentavam dois pares de folhas definitivas, foram transplantadas da bandeja para copos descartáveis preenchidos com o substrato comercial. Aos 35 dias, quando as plântulas apresentavam 6 folhas definitivas, foi efetuado o transplante das mudas para vasos de polietileno de cor com volume de 8L, preenchidos com substrato comercial.

As irrigações foram efetuadas diariamente no período da manhã e final da tarde, sempre verificando a necessidade das plantas para possibilitar a manutenção de níveis adequados de umidade do substrato para as plantas de couve. O controle de insetos e plantas espontâneas foi efetuado de forma manual mediante catação de insetos e arranque de invasoras. Para o controle fitossanitário foram realizados os tratos culturais como controle da lagarta da couve (*Ascia monuste* orseis) utilizando o inseticida biológico Dipel WP® (*Bacillus thuringiensis* var. Kurstaki) na dosagem de 0,6 g L⁻¹ duas vezes por semana.

Aos 90 dias de cultivo, as folhas de couve foram colhidas, realizando o procedimento no inicio da manhã, em temperatura amena. As folhas selecionadas foram

imediatamente acondicionadas em caixas térmicas contendo água e gelo e transportadas até a UTAL, para evitar hematomas e retenção de umidade. Foram selecionadas folhas com comprimento e cor uniforme, sem doenças ou lesões aparentes, sendo obtidas aleatoriamente nas unidades experimentais.

As folhas selecionadas foram imersas em soluções de melatonina nas doses controle (água destilada), 50, 100 e 150 µM durante 30 minutos, posteriormente removidas e secas ao ar em temperatura ambiente. Após a aplicação de cada tratamento, as folhas foram acondicionadas em sacos de polietileno e mantidas em refrigerador por 5 dias na temperatura de 5°C e 90% de UR, simulando a comercialização nos pontos de venda.

As folhas de couve foram avaliadas no dia 0 e 5 pós colheita, quanto às características físico-químicas e fotossintéticas. Para avaliação de teor de clorofila a, b, carotenoides e clorofila total foram adicionados pequenos fragmentos de 50 mg de folhas de couve em tubos de ensaio, envoltos em papel alumínio, para proteção da luz, contendo 10 mL de acetona a 80%. Os tubos foram colocados em temperatura ambiente durante 48h para extração dos pigmentos. Após a extração, foi efetuada a leitura da absorbância em espectofotômetro nos comprimentos de onda de 663 nm, 647 nm e 470 nm. Para determinação dos teores de clorofila e carotenoides foram empregadas as equações de Lichtenhaler e Welburn (1983): Clorofila a = $(12,21 \times A663 - 2,81 \times A647)$; Clorofila b = $(20,13 \times A647 - 5,03 \times A663)$; Carotenoides = $(1000 \times A470 - 3,27 \times [\text{clorofila } a] - 104 \times [\text{clorofila } b] / 229)$ e clorofila total = (clorofila a + clorofila b).

A determinação da acidez titulável foi realizada pelo método titulométrico. Foram utilizadas alíquotas de 10 mL de folhas maceradas, 100 mL de água destilada e duas gotas de fenolftaleína e, esta solução foi titulada com solução padrão de NaOH 0,1 mol L⁻¹. Os valores foram expressos em solução molar por cento v/m, conforme técnicas padronizadas (IAL, 2008).

O teor de sólidos solúveis das amostras foi determinado por maceração de 10 g da amostra e análise direta do suco obtido em refratômetro digital tipo Palette PR-32 marca ATAGO. Para realização da leitura foi utilizado duas gotas da amostra

macerado com auxílio de um gotejador e os resultados foram expressos em °Brix, conforme AOAC (2007).

Para a determinação de ácido ascórbico utilizou-se o método titulométrico com solução de iodato de potássio, segundo Instituto Adolfo Lutz (2008). Pesou-se 10 mL de cada amostra em um erlenmeyer de 300 mL com auxílio de aproximadamente 50 mL de água destilada. Adicionou-se 1 mL da solução de iodeto de potássio (KI) a 10% e 1 mL da solução de amido a 1%. Com auxílio de uma bureta, titulou-se com a solução de iodato 0,002 M padronizada, até a coloração adquirir uma cor amarronzada.

Os dados coletados foram submetidos a verificação de dados discrepantes (outliers) pelo teste de Grubbs (1969), de normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk (1965) e de homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett (1937). Posteriormente efetuou-se análise de variância pelo teste F, constatando-se significância estatística, foram realizadas comparações de médias pelo teste Tukey (1949) a 5% de probabilidade. Para verificar a influência dos tratamentos pós-colheita foi realizado complementarmente análise multivariada, utilizando correlação múltipla. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa de código aberto R e o programa SISVAR (Ferreira, 2011).

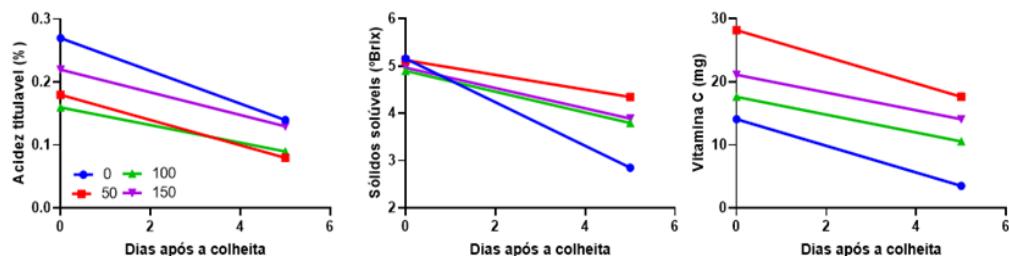
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EFEITO DA MELATONINA NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA

A acidez titulável, teor de sólidos solúveis e vitamina C foram influenciadas pelas doses de melatonina e períodos de avaliação, assim como pela interação destes dois fatores. Adicionalmente, as variáveis de clorofila a e carotenoides foram influenciados de maneira significativa ($p < 0,05$) pela dose e tempo, mas não pela interação dos tratamentos (APÊNDICE C).

A aplicação de melatonina em diferentes doses influenciou de forma significativa a qualidade pós-colheita da couve de folhas ao longo de 5 dias de armazenamento. As doses mais elevadas, especialmente 100 e 150 μM , foram as mais eficazes na preservação das variáveis avaliadas, como acidez titulável, sólidos solúveis e vitamina C. Observou-se que a dose controle (0 μM), apresentou as maiores perdas, principalmente na vitamina C e nos sólidos solúveis (Figura 4).

Figura 4 - Teores de acidez titulável (A), sólidos solúveis (B) e vitamina C (C) em folhas de couve submetidas a doses de melatonina para conservação pós-colheita de 0-5 dias. Rio Branco, AC, 2024.



Foi verificado diminuição significativa da acidez titulável ao longo período de armazenamento, com as menores reduções observadas nas folhas tratadas com 100 e 150 μM de melatonina (Figura 4A). Este efeito pode estar relacionado à capacidade da melatonina de eliminar radicais livres, protegendo os lipídios e proteínas da membrana contra danos pós-colheita. Segundo Cao *et al.* (2018), a aplicação de melatonina reduz a perda de compostos orgânicos durante o armazenamento, através da estimulação de enzimas antioxidantes como a superóxido dismutase e a catalase.

De acordo com Roura *et al.* (2000), logo após a colheita, o tecido vegetal tem maior respiração, resultando em um acentuado decréscimo da acidez devido ao consumo dos ácidos orgânicos no processo respiratório. A variação na acidez durante o armazenamento

pode ser explicado pela maior de ácidos galacturônico (radicais livres) a partir da hidrólise dos constituintes da parede celular, especialmente as pectinas.

A melatonina apresenta alta capacidade antioxidante, impedindo o acúmulo ROS (espécies reativas de oxigênio) e, assim, retardando os efeitos do processo de senescência em hortaliças folhosas (Zhang *et al.*, 2015). Ao estimular enzimas antioxidantes, pode ajudar a manter a estabilidade dos componentes bioquímicos das folhas, incluindo os ácidos orgânicos. Esse efeito preserva a acidez titulável ao reduzir o consumo de ácidos (Xu *et al.*, 2019).

Zhao *et al.* (2020) relataram que pepino, melão e brócolis revestidos com 1,2 % de quitosana, 0,8 % de carboximetilcelulose e 50 mg/l de melatonina, apresentaram menor perda de peso, escurecimento, degradação de sólidos solúveis e acidez titulável, além de maior acúmulo de clorofila. Estudo realizado por Xin *et al.*, (2017), ao tratar pepino com doses de 0, 50, 100, 500 µM de melatonina por 2h, observaram menor diminuição nos teores de clorofila, vitamina C, acidez titulável e sólidos solúveis, principalmente a partir da concentração de 100 µM, retardando a senescência e prolongando a vida útil.

A vitamina C apresentou uma redução significativa ao longo dos dias, sendo mais acentuada no tratamento controle, com uma perda de 75% (Figura 4C). As doses 50 e 150 µM, mantiveram níveis mais altos (17,63 mg e 14,08 mg), respectivamente, após os 5 dias de armazenamento (Figura 4C). A capacidade antioxidante da melatonina pode ter contribuído para a preservação dos níveis de vitamina C, retardando sua degradação. Indicando assim uma proteção contra o estresse oxidativo durante o armazenamento (Wang *et al.*, 2021).

A melatonina pode atuar na remoção do excesso de espécies reativas de oxigênio (ROS) por meio de um sistema antioxidante enzimático e não enzimático, capaz de neutralizar a citotoxicidade das plantas (Cao *et al.*, 2017). Esses antioxidantes podem prevenir a formação de radicais livres, sequestrar-los ou promover sua degradação, reduzindo os danos às células das plantas pós-colheita (Serkedjieva, 2011). O ácido ascórbico (AsA) é um dos principais antioxidantes não enzimáticos envolvidos na neutralização de ROS, incluindo o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o radical superóxido (O_2^-), contribuindo para a preservação celular (Liu *et al.*, 2015).

A melatonina exógena desencadeia o ciclo AsA-glutathiona, no qual o H_2O_2 é eliminado pela peroxidase do ascorbato (APX) mediante a peroxidação do AsA (Dinakar *et al.*, 2012). Cao *et al.* (2016) destacou que a melatonina desencadeia o

ciclo AsA-glutathione em pêssegos pós-colheita, regulando a expressão transcrional de enzimas antioxidantes, o que resulta em um nível maior de vitamina C e a vida útil prolongada de frutas e vegetais pós-colheita.

Compostos antioxidantes (fenólicos, carotenoides e ácido ascórbico) e enzimas antioxidantes, principalmente superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT) e peroxidase do ascorbato (APX) são responsáveis pela eliminação de ROS, contribuindo para reparar o dano oxidativo celular (Kumar *et al.*, 2014). Assim, tratamentos que levem ao aumento de compostos e enzimas que eliminem ROS, como observado nos experimentos tratados com melatonina em cereja (Dang *et al.*, 2010); manga (Xu *et al.*, 2019), pêssego (Ze *et al.*, 2021); pêra (Rui *et al.*, 2018) e repolho (Tan *et al.*, 2020), podem contribuir para retardar os processos de senescência pós-colheita e prolongar sua vida útil.

Os teores de sólidos solúveis diminuíram ao longo dos 5 dias, sendo a dose controle (0 µM) a que apresentou maior redução (44,7%), enquanto a dose de 50 µM apresentou a menor perda, variando de 5,16 °Brix no dia zero para 4,35 °Brix após cinco dias (Figura 4B). As doses de 50, 100 e 150 µM conseguiram manter a integridade celular e os açúcares solúveis por mais tempo, corroborando estudos anteriores sobre o efeito antioxidante da melatonina na preservação da qualidade de frutas e hortaliças (Xu *et al.*, 2019).

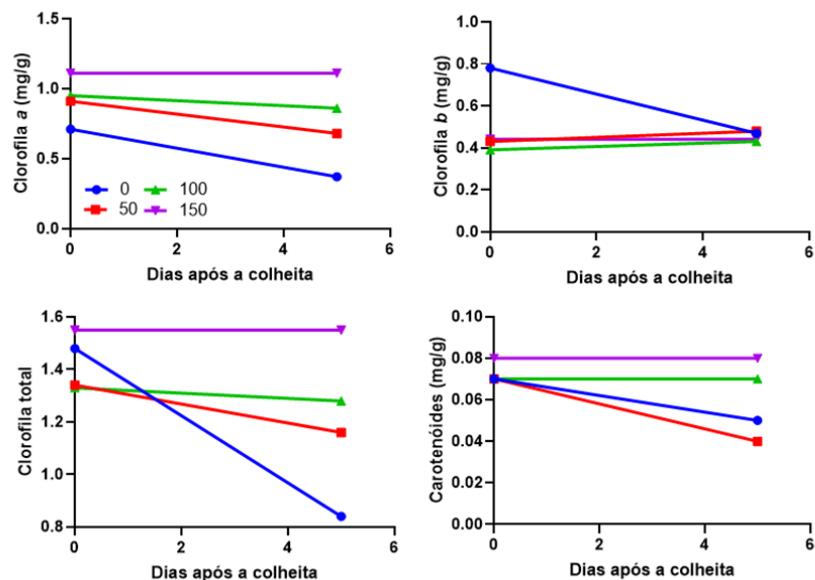
Estudos anteriores sugerem que a aplicação da melatonina retarda a perda de sólidos solúveis durante o armazenamento de 5 dias. A retenção de sólidos solúveis também foi observada em bagas de uva (Yang *et al.*, 2020), tomates (Sun *et al.*, 2015), morangos (El-mogy *et al.*, 2019) e cereja (Wang *et al.*, 2019).

Os teores de clorofila a, carotenoides e clorofila total foram preservados com as doses mais altas de melatonina (100 e 150 µM) (Figura 5). Nas folhas do tratamento controle, os teores de clorofila total diminuíram exponencialmente, totalizando uma perda de clorofila de 44% após 5 dias de armazenamento. Estes resultados estão alinhados com pesquisas anteriores que apontam que a melatonina reduz a produção de ROS, preservando os pigmentos fotossintéticos.

Hortaliças folhosas são mais suscetíveis à senescência foliar após a colheita, caracterizada pelo amarelecimento devido à degradação da clorofila, o que resulta em menor aceitação pelo consumidor e vida útil limitada (Tan *et al.*, 2020). A melatonina atua como um agente antissenescência, regulando enzimas do catabolismo da clorofila e genes promotores de senescência (*BrSAG12* e *BrSEN4*) (Arnao; Hernandez-Ruiz, 2019). Em

nosso estudo, as doses de 100 e 150 μM reverteram efetivamente a senescência pós-colheita, reduzindo a perda de clorofila e carotenoides (Figura 5).

Figura 5 - Teores de clorofila a (A), clorofila b (B), carotenoides (C) e clorofila total (D) em folhas de couve submetidas a doses de melatonina para conservação pós-colheita de 0-5 dias. Rio Branco, AC, 2024.



Embora muitos estudos apontem a melatonina como agente promissor na preservação de vegetais e frutas, o mecanismo pelo qual ela atua na proteção pós-colheita ainda é objeto de debate. Além disso, é importante considerar que a aplicação de melatonina exógena pode ativar a síntese de melatonina endógena, induzindo outros sinais moleculares que levam a efeitos no bloqueio da senescência foliar.

Também é importante considerar a quantidade de melatonina endógena que pode ser absorvida pelo corpo humano após o consumo de vegetais tratados com melatonina exógena. Resíduos desse tratamento podem ser removidos através de procedimentos de lavagem e higienização antes da ingestão. No geral, estudos farmacocinéticos indicam que, em torno de 75% da melatonina ingerida por via oral não é absorvida, sendo metabolizada pelo fígado e excretada pelas fezes e urina (Ma *et al.*, 2021). Dessa forma, o uso da melatonina para a preservação pós-colheita de frutas e vegetais é considerado seguro.

Os resultados obtidos neste trabalho sugerem que a melatonina pode ser uma ferramenta promissora para prolongar a vida útil pós-colheita de hortaliças folhosas, como a couve, devido à sua capacidade de reduzir o impacto do estresse oxidativo

e preservar os componentes nutricionais. Logo, sua aplicação pode ser integrada a sistemas de armazenamento de produtos hortícolas, proporcionando benefícios tanto para produtores quanto para os consumidores. Estudos futuros poderão explorar diferentes concentrações de melatonina e sua interação com outras tecnologias de preservação, além de investigar os mecanismos moleculares envolvidos no consumo pós-colheita.

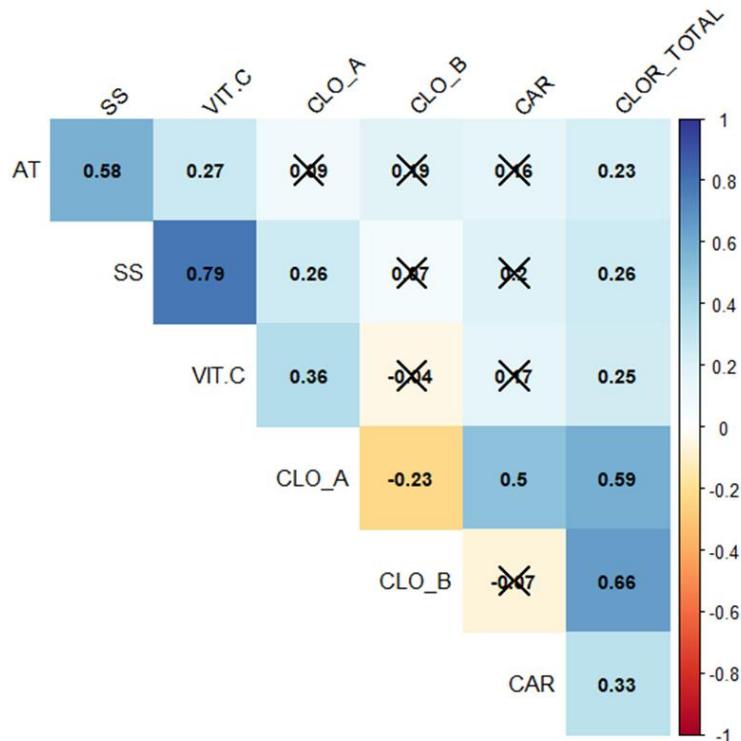
4.2 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO MÚLTIPLA

As variáveis SS, AT, VIT C apresentaram correlações significativas ($P<0,05$), sendo positivas com associações fracas. Foram verificadas correlações positivas específicas entre SS e AT, SS e VIT C, ainda ocorrendo correlação positiva da variável CLO_A com CAR e CLOR_TOTAL. As variáveis CLO_A e CLO_B apresentaram correlações não significativa ($p>0,05$), sendo as mesmas ainda negativas, com exceção na correlação para a variável CLO_total, apresentando correlação positiva moderada e significativa (Figura 6).

Para AT e SS houve correlação positiva moderada, sugerindo que à medida que a acidez aumenta, os sólidos solúveis tendem a aumentar. Esses resultados indicam que, no contexto estudado, os ácidos orgânicos e os sólidos solúveis (açúcares) estão presentes em proporções semelhantes, mas que o estágio de senescência e os tratamentos com melatonina podem ter influenciado o metabolismo pós-colheita da couve de folhas. A melatonina, ao retardar a degradação de ácidos orgânicos, pode ter ajudado a manter níveis mais altos de sólidos solúveis, explicando a correlação positiva. Além disso, a melatonina pode ter influenciado a atividade enzimática envolvida nesses processos metabólico (Zhang *et al.*, 2015).

As correlações entre as variáveis SS e VIT C foram positivas e fortes, indicando que há uma tendência de maior preservação da vitamina C à medida que os sólidos solúveis também são protegidos. A melatonina, como antioxidante, pode ter ajudado a conservar a vitamina C, retardando durante os 5 dias de armazenamento a sua oxidação. Além disso a vitamina C, é um dos indicadores mais relevantes da qualidade nutricional de frutas e hortaliças, demonstrando relação direta com a perda de sólidos solúveis (Arnao; Hernandez, 2022).

Figura 6 - Análise de correlação entre as variáveis de resposta estudadas para folhas de couve armazenadas durante 0-5 pós-colheita sob doses de melatonina. Rio Branco, AC, 2024.



*Correlações positivas e negativas são exibidas em azul e vermelho, respectivamente; a intensidade da cor e tamanho do círculo são proporcionais aos coeficientes de correlação. Acidez titulável - AT, vitamina C - VIT C, sólidos solúveis - SS, CLO_A – clorofila a, CLO_B - clorofila b, CLO_TOTAL – clorofila total.

A correlação positiva, embora muito fraca, entre AT e VIT C sugere que há uma leve tendência de aumento da vitamina C com o aumento da acidez. A melatonina pode ter influenciado essa relação, ajudando a aumentar a vida útil tanto dos ácidos orgânicos quanto da vitamina C pós-colheita. No entanto, a baixa magnitude da correlação indica que essa relação não é forte, o que é aceitável, pois a vitamina C é apenas um dos muitos ácidos orgânicos presentes na couve.

A correlação negativa forte entre CAR e SS sugere que, à medida que SS aumenta, CAR diminui significativamente. Isso pode estar relacionado ao metabolismo pós-colheita, onde os carotenóides (CAR) são degradados quando os açúcares (SS) aumentam. A melatonina, por ser um antioxidante natural, pode retardar a degradação de carotenoides ao reduzir o estresse oxidativo e inibir a atividade de enzimas que degradam esses pigmentos (Arnao; Hernandez, 2015). No entanto, se a

melatonina também influenciar o metabolismo de açúcares, pode haver uma aparente correlação negativa entre carotenoides e sólidos solúveis, como observado no estudo.

Para os pigmentos CLO_A e CLO_B a correlação foi positiva fraca sugerindo que essas variáveis estão relacionadas. A melatonina, ao retardar a degradação da clorofila, pode ter ajudado a manter níveis mais altos de clorofila *a* e *b*. Isso é consistente com o papel da melatonina na proteção contra o estresse oxidativo, que pode levar à degradação da clorofila. O mesmo comportamento de correlação positiva fraca é verificado entre as variáveis CLO_A e CAR, sugerindo uma leve tendência de aumento de CAR com o aumento de CLO_A. A melatonina pode ter influenciado essa relação, ajudando a preservar tanto a clorofila *a* quanto os carotenóides (Murch; Saxena, 2022).

A relação entre as variáveis verificadas nas folhas de couve estão relacionadas ao metabolismo pós-colheita de hortaliças. As análises de correlação indicaram uma relação significativa entre acidez titulável e sólidos solúveis, bem como entre sólidos solúveis e vitamina C. Esses resultados destacam a complexidade das interações químicas durante o desenvolvimento de frutas e hortaliças e sugerem que a qualidade e o valor nutricional podem ser otimizados através do manejo adequado da colheita e pós-colheita.

5 CONCLUSÕES

As doses 100 e 150 µM são eficazes na preservação da qualidade pós-colheita da couve de folhas. As variáveis de acidez titulável, sólidos solúveis e vitamina C foram positivamente influenciadas pela melatonina, com menor manipulação ao longo do tempo e maior preservação da qualidade nutricional. Da mesma forma, foram eficientes na manutenção dos pigmentos fotossintéticos, como clorofila e os carotenoides, retardando a manipulação dos compostos bioativos responsáveis pela aparência e qualidade fisiológica.

REFERÊNCIAS

- AHAMAD, S.; ASREY, R.; SINGH, A. K.; SETHI, S.; JOSHI, A.; VINOD, B. R.; CHOUPDAR, G. K. Melatonin treatment enhances bioactive compound retention, antioxidant activity and shelf-life of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) during cold storage. **International Journal of Food Science & Technology**, 2024.
- ALI, M.; KAMRAN, M.; ABBASI, G. H.; SALEEM, M. H.; AHMAD, S.; PARVEEN, A.; FAHAD, S. Melatonin-induced salinity tolerance by ameliorating osmotic and oxidative stress in the seedlings of two tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.40, p.2236-2248, 2021
- ALTAF, M. A.; SHAHID, R.; REN, M. X.; ALTAF, M. M.; KHAN, L. U.; SHAHID, S.; JAHAN, M. S. Melatonin alleviates salt damage in tomato seedling: a root architecture system, photosynthetic capacity, ion homeostasis, and antioxidant enzymes analysis. **Scientia Horticulturae**, v.285, p.110145, 2024.
- ALTAF, M. A.; SHAHID, R.; REN, M. X.; MORA-POBLETE, F.; ARNAO, M. B.; NAZ, S.; ANWAR, M.; ALTAF, M. M.; SHAHID, S.; SHAKOOR, A. Phytomelatonin: an overview of the importance and mediating functions of melatonin against environmental stresses. **Physiologia Plantarum**, v. 172, p. 820-846, 2022.
- ALTAF, M. A.; SHARMA, N.; SRIVASTAVA, D.; MANDAL, S.; ADAVI, S.; JENA, R.; BAIRWA, R. K.; GOPALAKRISHNAN, A. V.; KUMAR, A.; DEY, A. Deciphering the melatonin-mediated response and signalling in the regulation of heavy metal stress in plants. **Planta**, v. 257, p. 115, 2023.
- ARNAO, M. B.; CANO, A.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Phytomelatonin: an unexpected molecule with amazing performances in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 73, p. 5779-5800, 2022.
- ARNAO, M. B.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Functions of melatonin in plants: a review. **Journal of Pineal Research**, v.59, n.2, p.133-150, 2015.
- ARNAO, M. B.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Melatonin in its relationship to plant hormones. **Annals of Botany**, v. 121, p. 195-207, 2018.
- ARNAO, M. B.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Melatonin: a new plant hormone and/or a plant master regulator? **Trends in Plant Science**, v. 24, p. 38-48, 2019.
- CANO, A.; GIRALDO-ACOSTA, M.; GARCÍA-SÁNCHEZ, S.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J.; B. ARNAO, M. Efeito da melatonina na pós-colheita de brócolis e possível nível de ingestão de melatonina. **Plantas** , v.11, n.15, p.2000, 2022.
- CAO, S.; SONG, C.; SHAO, J.; BIAN, K.; CHEN, W.; YANG, Z. Exogenous melatonin treatment increases chilling tolerance and induces defense response in harvested peach fruit during cold storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 25, p. 5215-5222, 2016.

EL-MOGY, M. M.; LUDLOW, R. A.; ROBERTS, C.; MÜLLER, C. T.; ROGERS, H. J. Postharvest exogenous melatonin treatment of strawberry reduces postharvest spoilage but affects components of the aroma profile. **Journal of Berry Research**, v. 9, p. 297-307, 2019.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**. Versão 5.6 (Build 86). Lavras: Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Exatas, 2010.

GIRALDO-ACOSTA, M.; RUIZ- CANO, D.; CANO, A.; HERNANDEZ-RUIZ, J.; ARNAO, M. B. Extended Post-Harvest Effect of Melatonin in Fresh-Cut Broccolini Plants (Bimi®). **Agronomy**, 2023.

GRUBBS, F. E. Procedures for detecting outlying observations in samples. **American Society for Quality**, v. 11, n. 1, p. 1-21, 1969.

HODGES, D. M.; LESTER, G. E.; MUNRO, K. D.; TOIVONEN, P. M. A. Oxidative stress: importance for postharvest quality. **HortScience**, v. 39, p. 924-929, 2004.

HU, W.; YANG, H.; TIE, W.; YAN, Y.; DING, Z.; LIU, Y.; TAN, D. X. Natural variation in banana varieties highlights the role of melatonin in postharvest ripening and quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, p. 9987-9994, 2017.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: IMESP, 2008. v. 1. 670 p.

KUMAR, S.; YADAV, P.; JAIN, V.; MALHOTRA, S. P. Isozymes of antioxidative enzymes during ripening and storage of ber (*Ziziphus mauritiana Lamk.*). **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 329-334, 2014.

LALPEKHLUA, K.; TIRKEY, A.; SARANYA, S.; BABU, P. J. Post-harvest Management Strategies for Quality Preservation in Crops. **International Journal of Vegetable Science**, v.30, n.5, p.587-635, 2024.

LICHTENTHALER, H. K.; WELLBURN, A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, v. 11, p. 591-592, 1983.

MA, Q. L.; LIN, X.; WEI, Q. J.; YANG, X. Z.; ZHANG, Y. N.; CHEN, J. Y. Melatonin treatment delays postharvest senescence and maintains the organoleptic quality of 'Newhall' navel orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) by inhibiting respiration and enhancing antioxidant capacity. **Scientia Horticulturae**, v. 286, p. 110236, 2021.

MIAO, H.; ZENG, W.; ZHAO, M.; WANG, J.; WANG, Q. Effect of melatonin treatment on visual quality and health-promoting properties of broccoli florets under room temperature. **Food Chemistry**, v. 319, p. 126498, 2020.

MURCH, S. J.; SAXENA, P. K. Melatonin: a potential regulator of plant growth and development?. **In Vitro Cellular & Developmental Biology**, v.38, n.6, p.531-536, 2002.

NOVO, M. C. S. S.; PRELA-PANTANO, A.; TRANI, P. E.; BLAT, S. F. Desenvolvimento e produção de genótipos de couve manteiga. Horticultura Brasileira, Brasília, DF, v. 28, n. 3, p.321-325, 2010.

ROURA, S. I.; DAVIDOVICH, L. A.; DEL VALLE, C. E. Quality loss in minimally processed swiss chard related to amount of damaged area. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 23, n. 1, p. 53-59, 2000.

RUI, Z.; LIU, J.; LIU, F.; ZHAO, Y.; LIU, L.; CHEN, F.; MA, F. Melatonin limited ethylene production, softening and reduced physiology disorder in pear (*Pyrus communis* L.) fruit during senescence. **Postharvest Biology and Technology**, v. 139, p. 38-46, 2018.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SHI, L.; CHEN, Y.; DONG, W.; LI, S.; CHEN, W.; YANG, Z.; CAO, S. A melatonina atrasou a senescência modulando o conteúdo de moléculas de sinalização de plantas em quiabos pós-colheita. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p.1304913, 2024.

SUN, Q.; NA, Z.; WANG, J.; CAO, Y.; LI, X.; ZHANG, H.; GUO, Y. D. A label-free differential proteomics analysis reveals the effect of melatonin on promoting fruit ripening and anthocyanin accumulation upon postharvest in tomato. **Journal of Pineal Research**, v. 61, p. 138-153, 2016.

SUN, Q.; ZHANG, N.; WANG, J.; ZHANG, H.; LI, D.; SHI, J.; LI, R.; WEEDA, S.; ZHAO, B.; REN, S.; et al. Melatonin promotes ripening and improves quality of tomato fruit during postharvest life. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, p. 657-668, 2015.

TAN, D. X.; REITER, R. J. Mitochondria: the birth place, battle ground and the site of melatonin metabolism in cells. **Melatonin research**, v.2, n.1, p.44-66, 2019.

TAN, X.; ZHAO, Y.; SHAN, W.; KUANG, J.; LU, W.; SU, X.; CHEN, J. A melatonina atrasa a senescência foliar do repolho chinês em flor pós-colheita por meio da homeostase do ROS. **Food Research International**, v. 138, p. 109790, 2020.

TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. **International Biometric Society**, v. 5, n. 2, p. 99-114, 1949.

WANG, L.; CHEN, R.; REN, X. A melatonina aumenta a vida útil e a qualidade nutricional de frutas e vegetais. **Trends in Food Science and Technology**, v. 107, p. 93-101, 2021.

WANG, S.-Y.; SHI, X.-C.; WANG, R.; WANG, H.-L.; LIU, F.; LABORDA, P. Melatonin in fruit production and postharvest preservation: A review. **Food Chemistry**, v. 320, p. 126642, 2020.

WU, C.; CAO, S.; XIE, K.; CHI, Z.; WANG, J.; WANG, H.; WEI, Y.; SHAO, X.; ZHANG, C.; XU, F. Melatonin delays yellowing of broccoli during storage by regulating chlorophyll catabolism and maintaining chloroplast ultrastructure. **Postharvest Biology and Technology**, v. 172, p. 111378, 2021.

XIN, D. D.; SI, J. J.; KOU, L. P. Post-harvest exogenous melatonin enhances quality and delays the senescence of cucumber. **Acta Horticulturae Sinica**, v. 44, p. 891-901, 2017.

XU, T.; CHEN, Y.; KANG, H. Melatonin is a potential target for improving post-harvest preservation of fruits and vegetables. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1388, 2019.

YANG, M.; WANG, L.; BELWAL, T.; ZHANG, X.; LU, H.; CHEN, C.; LI, L. Exogenous melatonin and abscisic acid expedite the flavonoids biosynthesis in grape berry of *Vitis vinifera* cv. Kyoho. **Molecules**, v. 25, n. 12, 2020.

YUE, L.; KANG, Y.; ZHONG, M.; KANG, DENGJIN.; ZHAO, P.; CHAI, X.; YANG, X. Melatonin Delays Postharvest Senescence through Suppressing the Inhibition of BrERF2/BrERF109 on Flavonoid Biosynthesis in Flowering Chinese Cabbage. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 3, p. 2933, 2023.

ZE, Y.; GAO, H.; LI, T.; YANG, B.; JIANG, Y. Insights into the roles of melatonin in maintaining quality and extending shelf life of postharvest fruits. **Trends in Food Science and Technology**, v. 109, p. 569-578, 2021.

ZHANG, N.; SUN, Q.; ZHANG, H.; CAO, Y.; WEEDA, S.; REN, S.; GUO, Y. D. Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. **Journal of Experimental Botany**, v.66, n.3, p.647-656, 2015.

ZHAO, H.; WANG, L.; BELWAL, T.; JIANG, Y.; LI, D.; XU, Y.; LI, L. Chitosan-based melatonin bilayer coating for maintaining quality of fresh-cut products. **Carbohydrate Polymers**, v. 235, p. 115973, 2020.

ZHENG, H.; LIU, W.; LIU, S.; LIU, C.; ZHENG, L. Effects of melatonin treatment on the enzymatic browning and nutritional quality of fresh-cut pear fruit. **Food Chemistry**, v.299, p.125116, 2019.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram a compreensão de que a couve de folhas apresenta efeitos significativos no desenvolvimento e na adaptação fotossintética em condições de sombreamento e na presença de melatonina exógena. A qualidade e conservação pós-colheita da cultura foi favorecida pelo tratamento com melatonina. Observou-se que a dose de 50 µM de melatonina, promoveu maior desenvolvimento e biomassa da couve de folha, mesmo sob níveis de sombreamento de 50% e 65%, além de aumentar a resiliência da planta em condições adversas. Esse ajuste demonstra que a melatonina atua como um regulador fisiológico, auxiliando a planta a superar os desafios impostos pela redução da luminosidade.

Outro dado significativo observado foi a influência da melatonina em aumentar os teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides em plantas sob sombreamento, indicando uma melhoria na capacidade fotossintética e na captação de luz em ambientes com baixa luminosidade.

Além disso, aplicação de melatonina, principalmente em doses mais elevadas (100 µM e 150 µM), demonstrou ser eficaz na preservação da qualidade pós-colheita da couve de folha.

Desse modo, os resultados deste trabalho evidenciam a influência positiva do sombreamento e da melatonina, podendo ser uma ferramenta promissora no manejo da couve de folha. Estudos futuros podem explorar doses otimizadas, interações com outros reguladores vegetais e a aplicação em diferentes culturas, ampliando o entendimento dos benefícios da melatonina na agricultura.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Resumo da análise de variância para comprimento foliar (COM), largura foliar (LAR), diâmetro do coleto (DC), altura da planta (AP), número total de folhas (NFT), massa seca e fresca de folhas (MFF e MSF) e massa seca da raiz (MSR) em couve de folhas submetidas a níveis de sombreamento e melatonina. Rio Branco, AC, 2024.

FV	Quadrados Médios e Significâncias								
	GL	COM	LAR	DC	AP	NFT	MFF	MSF	MSR
SOM (S)	4	3,2875 ^{ns}	3,1746*	7,5528*	105,909*	13,350*	31,19 ^{ns}	1,572*	0,07 ^{ns}
MEL (M)	1	0,2675 ^{ns}	0,1322 ^{ns}	44,1000*	98,481*	10,000 ^{ns}	566,2*	25,090*	0,53*
S x M	4	0,0756 ^{ns}	1,2803 ^{ns}	1,64187 ^{ns}	35,890 ^{ns}	8,7500 ^{ns}	49,44 ^{ns}	2,3767*	0,02 ^{ns}
erro	30	1,95833	0,78058	1,31000	15,990	4,4500	31,056	0,5813	0,056
Total	39	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		13,08	10,91	14,68	39,61	19,26	23,35	23,37	26,61

*ns não significativo ($p>0,05$); *significativo a 5% ($p\leq 0,05$).

APÊNDICE B - Resumo da análise de variância para clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b) e carotenoides (CAR) em couve de folhas submetidas a níveis de sombreamento e melatonina. Rio Branco, AC, 2024.

Quadrados Médios e Significâncias				
FV	GL	Chl a	Chl b	CAR
Sombreamento (S)	4	0,038035*	0,010290*	0,241660*
Melatonina (M)	1	0,153760*	0,018923*	0,030803*
S x M	4	0,057560*	0,020223*	0,024628*
erro	30	0,000077	0,000084	0,000074
Total	39	0,538440	0,143498	1,098178
CV (%)		1,61	4,32	7,07

*ns não significativo ($p>0,05$); *significativo a 5% ($p\leq 0,05$).

APÊNDICE C - Resumo da análise de variância para acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), vitamina C (VIT C), clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b), carotenoides (CAR), clorofila total (Chl T) em couve folha pós-colheita submetidas a doses de melatonina durante 0-5 dias. Rio Branco, AC, 2024.

FV	Quadrados Médios e Significâncias							
	GL	AT	SS	VIT C	Chl a	Chl b	CAR	Chl T
Dose (D)	3	0,2991*	1,8241*	704,59*	1,1282*	0,1890 ^{ns}	0,0036*	0,5541 ^{ns}
Tempo (T)	1	0,1940*	34,716*	1553,20*	0,5527*	0,0599 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,9746 ^{ns}
D x T	3	0,0026*	2,2961*	20,59*	0,1110 ^{ns}	0,1459 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,4297 ^{ns}
erro	72	0,00011	0,06256	0,10979	0,10956	0,1792	0,0093	0,2240
Total	79	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		6,75	5,71	2,09	39,61	17,76	15,93	35,95

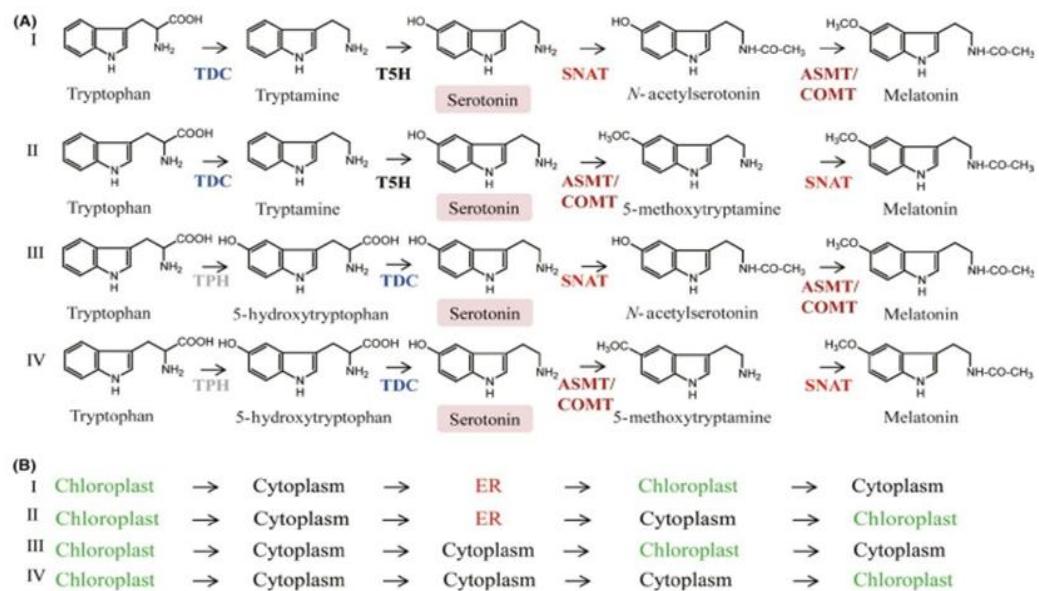
*ns não significativo ($p>0,05$); *significativo a 5% ($p\leq 0,05$).

APÊNDICE D – Acidez titulável (AT), vitamina C (VIT C), sólidos solúveis (SS), clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b), carotenoides (CAR), clorofila total (Chl T) em couve folha pós-colheita submetidas a doses de melatonina durante 0-5 dias. Rio Branco, AC, 2024.

Doses	DIA 0						
	AT %	VIT C mg	SS °Brix	Chl a mg/g	Chl b mg/g	CAR mg/g	Chl T mg/g
0	0,26 Aa	14,0 Ad	5,16 Aa	0,70 Ac	0,779 Aa	0,067 Aa	1,331 Aa
50	0,18 Ab	28,2 Ab	5,13 Aa	0,91 Aab	0,443 Aab	0,069 Aa	1,342 Aa
100	0,15 Ac	17,6 Ac	4,90 Ab	0,94 Aab	0,385 Ac	0,073 Aa	1,484 Aa
150	0,21 Ad	21,1 Aa	4,97 Ab	1,10 Aa	0,442 Aab	0,083 Aa	1,550 Aa
CV (%)	6,75	2,09	5,71	39,61	37,76	35,93	35,95
Doses	DIA 5						
	0	0,14 Bb	3,52 Bd	2,85 Bc	0,37 Bc	0,470 Aa	0,045 Ac
50	0,08 Ba	17,63 Ba	4,35 Ba	0,67 Ab	0,482 Aa	0,041 Bcd	1,158 Aab
100	0,08 Ba	10,53 Bc	3,80 Bb	0,85 Aab	0,426 Aa	0,072 Aab	1,227 Ab
150	0,12 Bc	14,08 Ba	3,89 Bb	1,10 Aa	0,442 Aa	0,083 Aa	1,550 Ab
CV (%)	6,75	2,09	5,71	39,61	37,76	35,93	35,95

*Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem ($p>0,05$) entre si pelo teste de Tukey em relação a dose dentro do tempo.
Médias seguidas de mesma letra maiúscula, não diferem ($p>0,05$) entre si pelo teste de Tukey em relação a tempo dentro da dose.

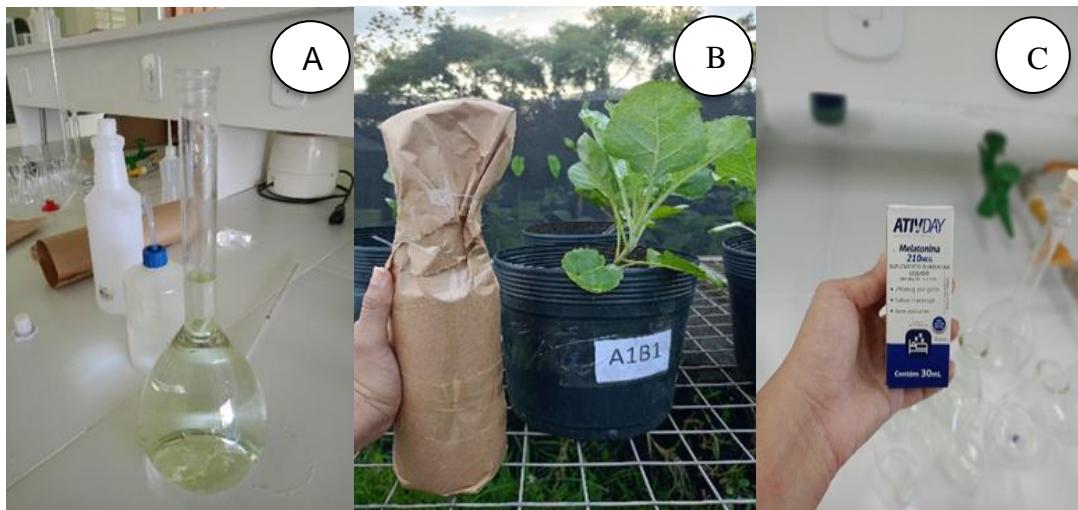
APÊNDICE E – (A) Vias de biossíntese de melatonina; (B) Localizações subcelulares de melatonina. TDC: triptofano descarboxilase; TPH: triptofano hidroxilase; T5H: triptamina 5-hidroxilase; SNAT: serotonina N-acetiltransferase; COMT: ácido cafeico O-metiltransferase; ASMT: N-acetilserotonin metiltransferase.



APÊNDICE F - Casas de vegetação com sombreamento nos níveis de 50%, 65%, 35% e 20%. Horta experimental, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre.



APÊNDICE G - Preparo da solução com melatonina (A); Aplicação do tratamento (B); Melatonina utilizada no experimento (C).



APÊNDICE H - Produção de mudas de couve em bandeja (A); copo (B) e vaso (C) na horta da Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre.

