

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**

**WELLINGTON FELIPE DOS SANTOS**

**CRESCIMENTO, EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA E PRODUÇÃO DE  
METABÓLITOS PRIMÁRIOS E SECUNDÁRIOS EM *Garcinia brasiliensis*  
CULTIVADA SOB DIFERENTES MALHAS FOTOCONVERSoras**

**ALFENAS/MG**

**2022**

**WELLINGTON FELIPE DOS SANTOS**

**CRESCIMENTO, EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA E PRODUÇÃO DE  
METABÓLITOS PRIMÁRIOS E SECUNDÁRIOS EM *Garcinia brasiliensis*  
CULTIVADA SOB DIFERENTES MALHAS FOTOCONVERSoras**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais,  
pela Universidade Federal de Alfenas. Área de  
concentração: Ciências Ambientais  
Orientador: Prof. Dr. Thiago Corrêa de Souza  
Coorientadora: Dra. Kamila Rezende Dázio de Souza

**ALFENAS/MG**

**2022**

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca Central

Santos, Wellington Felipe dos.

Crescimento, eficiência fotossintética e produção de metabólitos primários e secundários em *Garcinia brasiliensis* cultivada sob diferentes malhas fotoconversoras / Wellington Felipe dos Santos. - Alfenas, MG, 2022.

63 f. : il. -

Orientador(a): Thiago Corrêa de Souza.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2022.

Bibliografia.

1. Malhas coloridas. 2. Radiação luminosa. 3. Fitocromos e criptocromos. 4. Óleo essencial. 5. Fitoquímica. I. Souza, Thiago Corrêa de, orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

**WELLINGTON FELIPE DOS SANTOS**

**“CRESCIMENTO, EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA E PRODUÇÃO DE  
METABÓLITOS PRIMÁRIOS E SECUNDÁRIOS EM  
*Garcinia brasiliensis* CULTIVADA SOB DIFERENTES MALHAS  
FOTOCONVERSoras”**

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Aprovada em: 25 de maio de 2022.

Prof. Dr. Thiago Corrêa de Souza  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Dr. Sara Dousseau Arantes  
Instituição: Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

Prof. Dr. Breno Régis Santos  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Corrêa de Souza, Professor do Magistério Superior**, em 25/05/2022, às 16:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sara Dousseau Arantes, Usuário Externo**, em 25/05/2022, às 16:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Breno Régis Santos, Professor do Magistério Superior**, em 25/05/2022, às 16:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0731929** e o código CRC **69917BA4**.

À Sueli dos Santos, pela mãe solo que foi e  
por todo amor compartilhado, dedico.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, à minha mãe, Sueli dos Santos, por todo o suporte dado para que eu iniciasse o curso de mestrado e concluísse com êxito.

À força maior que me conduz em todos os momentos da vida.

À minha tia, Nadir Antonioli, pelo apoio financeiro, principalmente, no final do curso.

Às minhas primas, Simone Antonioli e Micaela Santos, pela disposição em me ajudar de todas as formas possíveis.

À minha família, de um modo geral, pela existência e companheirismo.

Aos meus amigos, pela demonstração de afeto e apoio psicológico e emocional.

À comunidade LGBTQIA+, que, diretamente e indiretamente, é o meu refúgio, resistência e força para viver e sobreviver.

Agradeço ao meu orientador, Thiago Corrêa de Souza, pelos conhecimentos científicos provocados e oportunidades acadêmicas durante a realização do mestrado.

Sou extremamente grato à minha coorientadora, Kamila Rezende Dázio de Souza, por todos os conhecimentos relacionados à fisiologia vegetal compartilhados, pela companhia e auxílio nas análises de campo e laboratoriais e pela amizade construída ao longo do tempo.

Estendo os meus agradecimentos à Gisele, Amanda, José, Kamilla, Yamka e Valdir, pelo subsídio em relação às coletas de dados bimestrais e aos experimentos bioquímicos.

À Joice A. N. Portugal pela ajuda inicial na semeadura e cultivo das plantas.

Ao Prof. Dr. Geraldo Silva pela parceria e extração do óleo essencial.

Ao Prof. Dr. Marcelo pela parceria e caracterização química do óleo.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Daniela Chagas e seus alunos e à pós-doutoranda Karen, pelo ensaio de atividade biológica.

À Ana Lúcia e Roselaine, por tamanha disponibilidade e vontade em me ajudar no cotidiano das análises laboratoriais e, também, por toda a amizade.

À Gabriela Ezequiel, pelo suporte técnico no laboratório.

Ao Biogen, Laboratório de Biotecnologia e Genotoxicidade, pelo espaço físico e infraestrutura ofertados para o andamento e conclusão do presente projeto de pesquisa.

À banca examinadora desta dissertação, pelo aceite de avaliação.

À Universidade Federal de Alfenas e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), por viabilizar a execução deste trabalho e permitir a construção de elos e momentos inesquecíveis.

A todas as agências de fomento à pesquisa do PPGCA.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de financiamento 001.

## RESUMO

A espécie *Garcinia brasiliensis* é alvo de estudos para descobertas de novos bioativos com potencial terapêutico, porém, o conhecimento acerca dos seus óleos essenciais ainda é restrito. As malhas coloridas alteram a qualidade e a quantidade da luz incidente sobre as plantas, o que proporciona mudanças morfológicas e fisiológicas nos vegetais, podendo inclusive alterar o metabolismo secundário. Dessa forma, avaliou-se o crescimento, a eficiência fotossintética e a produção de metabólitos primários e secundários em *Garcinia brasiliensis* cultivadas sob malhas coloridas. Para isso, as mudas foram cultivadas em vasos de 20 L e mantidas por 11 meses em seis ambientes diferentes, que corresponderam aos tratamentos: malhas vermelha (50% de sombra), azul (50% de sombra), aluminet (prata; 50% de sombra), preta (50% de sombra), preta (70% de sombra) e pleno sol (controle). Foram realizadas análises não-destrutivas bimestrais de trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e crescimento da parte aérea. Ao final do experimento foram avaliados a alocação de massa seca e os teores de carboidratos, aminoácidos, proteínas, fenólicos e flavonoides totais em folhas e raízes. O óleo essencial foi extraído das folhas e sua atividade biológica foi determinada. As malhas vermelha e azul alteraram o espectro da radiação incidente, sendo evidenciado dois picos de intensidade na vermelha, um entre 480 a 600 nm e outro entre 600 e 680 nm, enquanto na azul esteve ligeiramente antes de 480 nm. A malha vermelha induziu maior crescimento apical, ao mesmo tempo que na azul as plantas acumularam maior teor de clorofila. A malha aluminet esteve relacionada com a manutenção da taxa fotossintética líquida e do rendimento fotoquímico nos meses de maior incidência de luz e temperatura. Na malha vermelha e na aluminet, as plantas tiveram maior acúmulo de biomassa seca. O maior rendimento do OE foi verificado em plantas cultivadas sob a malha azul, porém, as maiores atividades anti-inflamatórias foram detectadas no pleno sol, preto 50% e aluminet. O conteúdo de fenólicos e flavonoides nas folhas foi maior em pleno sol. A intensidade e a qualidade da radiação interferem na ecofisiologia, no crescimento e no metabolismo das plantas, alterando a ação terapêutica dos óleos essenciais foliares de *G. brasiliensis*.

Palavras-chave: malhas coloridas; radiação luminosa; fitocromos e criptocromos; óleo essencial; fitoquímica.



## ABSTRACT

The *Garcinia brasiliensis* species is the subject of studies for the discovery of new bioactives with therapeutic potential, however, knowledge about its essential oils is still limited. Colored meshes change the quality and quantity of light incident on plants, which provides morphological and physiological changes in plants, and may even change secondary metabolism. Thus, growth, photosynthetic efficiency and the production of primary and secondary metabolites in *Garcinia brasiliensis* grown under colored nets were evaluated. For this, the seedlings were grown in 20 L pots and kept for 11 months in six different environments, which corresponded to the treatments: red mesh (50% shade), blue (50% shade), aluminet (silver; 50% shade), black (50% shade), black (70% shade) and full sun (control). Bimonthly non-destructive analyzes of gas exchange, chlorophyll a fluorescence and shoot growth were performed. At the end of the experiment, the allocation of dry mass and the contents of carbohydrates, amino acids, proteins, phenolics and total flavonoids in leaves and roots were evaluated. The essential oil was extracted from the leaves and its biological activity was determined. The red and blue meshes altered the incident radiation spectrum, with two peaks of intensity being evidenced in the red one, one between 480 and 600 nm and another between 600 and 680 nm, while in the blue one it was slightly before 480 nm. The red net induced greater apical growth, while in the blue net the plants accumulated a higher chlorophyll content. The aluminet mesh was related to the maintenance of the net photosynthetic rate and the photochemical yield in the months of higher incidence of light and temperature. In the red net and in the aluminet, the plants had a greater accumulation of dry biomass. The highest EO yield was verified in plants grown under the blue net, however, the highest anti-inflammatory activities were detected in full sun, 50% black and aluminet. The content of phenolics and flavonoids in the leaves was higher in full sun. The intensity and quality of radiation interfere with the ecophysiology, growth and metabolism of plants, altering the therapeutic action of essential foliar oils of *G. brasiliensis*.

Keywords: colored nets; light radiation; phytochromes and cryptochromes; essential oil; phytochemistry.

## LISTA DE SIGLAS

AR	Açúcares Redutores
AST	Açúcares Solúveis Totais
BSA	Albumina Sérica Bovina
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
EROs	Espécies Reativas de Oxigênio
ICN	Instituto de Ciências da Natureza
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LPS	Lipopolissacarídeo
MG	Minas Gerais
OE	Óleo Essencial
OMS	Organização Mundial da Saúde
PAL	Fenilalanina Amônia Liase
PGE2	Prostaglandina-E2
PPFD	Densidade de Fluxo de Fótons Fotossintéticos
TAL	Tirosina Amônia Liase
UALF	Herbário da Universidade Federal de Alfenas
UNIFAL	Universidade Federal de Alfenas
UV-A	Ultra-Violeta – A
UV-B	Ultra-Violeta – B

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
2.1	CARACTERIZAÇÃO BOTÂNICA E FITOQUÍMICA DE <i>Garcinia brasiliensis</i> ..	14
2.2	METABOLISMO SECUNDÁRIO E ÓLEO ESSENCIAL EM PLANTAS .....	15
2.3	IMPORTÂNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR EM PLANTAS E O USO DE MALHAS COLORIDAS NA PRODUÇÃO DE METABÓLITOS SECUNDÁRIOS .....	17
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	20
	<b>Modificação da radiação por malhas fotoconversoras na busca de maior performance ecofisiológica, química e avaliação do potencial anti-inflamatório do óleo essencial de <i>Garcinia brasiliensis</i></b> .....	24
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	26
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	28
2.1	OBTENÇÃO DAS MUDAS E CONDUÇÃO EXPERIMENTAL .....	28
2.2	CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE .....	29
2.3	ANÁLISES MORFOFISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS E DO METABOLISMO SECUNDÁRIO .....	29
2.3.1	Avaliações de crescimento .....	29
2.3.2	Avaliações ecofisiológicas .....	30
2.3.2.1	Teor relativo de clorofila .....	30
2.3.2.2	Taxa fotossintética líquida .....	30
2.3.2.3	Fluorescência da clorofila a .....	30
2.3.3	Quantificação de metabólitos primários .....	31
2.3.4	Extração do óleo essencial (OE).....	31
2.3.5	Atividade biológica do óleo essencial .....	32
2.3.6	Quantificação de compostos fenólicos e flavonoides totais .....	32
2.3.7	Arranjo experimental e análise estatística .....	32

<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>46</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As plantas medicinais constituem uma extensa fonte de substâncias naturais bioativas devido às variadas estruturas químicas e ações biológicas de seus componentes (SEN; SAMANTA, 2014). Cerca de 80% da população no mundo realiza tratamento pela fitoterapia ou faz uso de extratos vegetais, conforme dados da Organização Mundial da Saúde, OMS (SOARES-BEZERRA *et al.*, 2013). No Brasil, 82% da população faz uso de produtos derivados de plantas medicinais (LEITE *et al.*, 2021). O mercado fitoterápico retrata uma indústria em torno de 14 bilhões de dólares ao ano, o que significa 5% dos 280 bilhões de dólares ao ano do mercado de medicamentos atual. Contudo, perante o grande potencial da flora para a descoberta de novas terapias, as espécies vegetais ainda são relatadas como pouco estudadas (SEN; SAMANTA, 2014; SOARES-BEZERRA *et al.*, 2013).

Um dos gêneros que atraem novos estudos quanto à aplicação farmacológica é o *Garcinia* cuja família é a Clusiaceae (ZAN *et al.*, 2018). Além disso, é visto como origem de produtos de valor agregado como pigmentos, óleos essenciais, gorduras e resinas (RAMESHKUMAR, 2017). Muitas espécies desse gênero encontram-se na região tropical do mundo e são conhecidas pela notável produção de metabólitos secundários com atividade biológica e de interesse farmacológico (RAMESHKUMAR, 2017; WONG *et al.*, 2017). Óleos essenciais de plantas de *Garcinia* também têm sido relacionados com a presença de elevadas concentrações de sesquiterpenos e com diferentes atividades biológicas (MENON *et al.*, 2019).

*Garcinia brasiliensis*, mais conhecida como bacupari-anão no território brasileiro, é nativa da floresta amazônica e possui frutos comestíveis (ARWA *et al.*, 2015; DE CASTRO MOREIRA *et al.*, 2017; ZAN *et al.*, 2018). Extratos das folhas de *G. brasiliensis* apresentaram atividades antioxidante, anti-inflamatória, citotóxica, antimicrobiana e cicatrizante (SOUZA *et al.*, 2022; ZAN *et al.*, 2018). Além disso, foi reportada a predominância de biflavonóides e, dentre eles, a moreloflavona (DA SILVA *et al.*, 2020; DE MELO *et al.*, 2021; ZAN *et al.*, 2018). A moreloflavona, componente dos biflavonóides característicos de *Garcinia*, também já foi isolada no epicarpo de *G. brasiliensis* (ZAN *et al.*, 2018). Apesar dos estudos promissores a respeito de metabólitos secundários produzidos pelas folhas de *G. brasiliensis*, existem poucos estudos relacionados com a produção de óleos essenciais pelo órgão, como o de Veroneze-Jr *et al.* (2022). Por outro lado, o óleo essencial do pericarpo dos frutos de *G. brasiliensis* apresentou 38 constituintes, dentre eles, monoterpenos e sesquiterpenos, com atividade anti-inflamatória descrita (MARTINS *et al.*, 2008).

Os fatores genéticos e ambientais exercem influência sobre as características morfofisiológicas e anatômicas de uma planta (CORRÊA *et al.*, 2012). A luz, em especial, está intimamente ligada à fotomorfogênese, fototropismo e fotoperiodismo (LARCHER, 2000). Os receptores de luz absorvem um comprimento de onda específico e, posteriormente, desencadeiam as fotorrespostas. Entretanto, o dinamismo dos fotorreceptores está condicionado a características da luz como, a quantidade de fótons, qualidade e duração de exposição (fotoperíodo) (FOLTA; CARVALHO, 2015). Adicionalmente, a luz desenvolve um papel fundamental na produção e acumulação dos metabólitos secundários em plantas. Isto se deve à ativação, pelos fótons, dos fotorreceptores que permitem a ocorrência de vias de sinalização e mudanças na expressão de genes (THOMA *et al.*, 2020).

As modificações dos aspectos de quantidade e de qualidade da radiação solar podem gerar responsabilidades diferentes nas plantas. Neste sentido, a tecnologia de malhas fotoconversoras atua filtrando comprimentos de onda específicos, isto é, alterando a qualidade da radiação, que, por sua vez, resulta em mudanças morfológicas e fisiológicas correlacionadas ao crescimento e desenvolvimento (CHAGAS *et al.*, 2013) e na produção e reserva de óleo essencial pelo metabolismo secundário em vegetais (CHAGAS *et al.*, 2013).

Estudos utilizando malhas de diferentes colorações têm demonstrado a influência da qualidade e da quantidade de radiação sobre o acúmulo de biomassa (COSTA *et al.*, 2012), trocas gasosas, produção de metabólitos secundários (DÍAZ-PÉREZ; ST. JOHN, 2019) e características anatômicas das folhas (COSTA *et al.*, 2018). No caso dos óleos essenciais, a radiação possui influência sobre a produção e a composição dos mesmos (COSTA *et al.*, 2012). A composição dos óleos essenciais já foi associada às variações no grau de oxirredução nos compostos das rotas de terpenos, em decorrência da variação na qualidade da radiação incidente (COSTA *et al.*, 2012).

Neste sentido, hipotetizou-se que a produção de óleo essencial em folhas de *G. brasiliensis* sofre variações de acordo com a qualidade e a quantidade da radiação solar. Além disso, que as alterações no metabolismo secundário são decorrentes de modificações no metabolismo primário. Assim, este trabalho teve como objetivo verificar os aspectos morfofisiológicos e de produção de óleo essencial em folhas de *Garcinia brasiliensis* sob ambientes com diferentes malhas e cores variadas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO BOTÂNICA E FITOQUÍMICA DE *Garcinia brasiliensis*

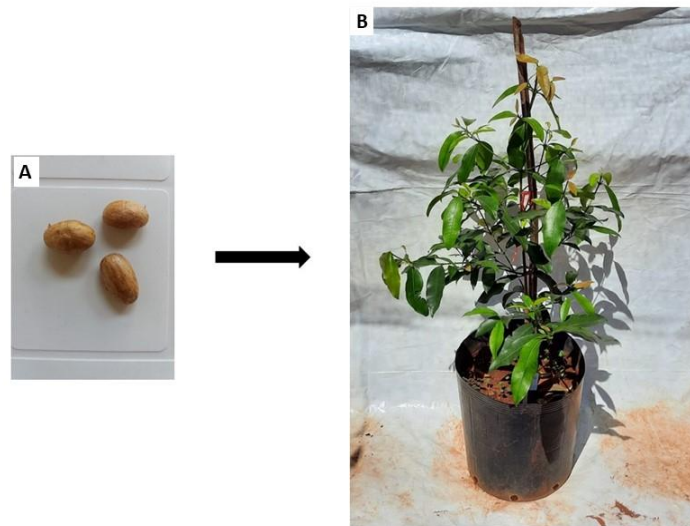
O gênero *Garcinia* é o maior da família Clusiaceae (RAMESHKUMAR, 2017) e detém mais de 1.000 espécies (ZAN *et al.*, 2018). Caracteriza-se, frequentemente, por árvores verdes de médio ou pequeno porte e distribui-se entre as regiões tropicais da Ásia, África e das Américas (NEVES *et al.*, 2007; RAMESHKUMAR, 2017). As espécies de *Garcinia* normalmente possuem moldabilidade adaptativa atípica em termos evolutivos e questões taxonômicas pouco compreendidas (DUNTHORN, 2004; RAMESHKUMAR, 2017). Por outro lado, a morfologia de seus órgãos vegetativos é mais claramente abordada: as flores, em geral, organizam-se em um cyme simples ou poucos aglomerados fasciculados, são sésseis, terminais ou axilares, com diferentes cores, em média com cinco pétalas e sépalas e vários estames. As folhas são coriáceas, opostas e compostas por uma cavidade diminuta na base do pecíolo. Os frutos vão de carnosos até amadeirados, fixados no cálice, em sua grande maioria, persistente, com 1 a 12 sementes achatadas e circundadas pela polpa, possuindo forma globular e tamanhos, cores (do verde amarelado ao vermelho) e pesos divergentes (RAMESHKUMAR, 2017).

O perfil fitoquímico desse gênero é dado por uma diversidade de classes de substâncias. Os biflavonóides, xantonas, proantocianinas, benzofenonas polipreniladas, sesquiterpenos e triterpenos pentacíclicos já foram isolados de *Garcinia* (CORRÊA *et al.*, 2009; DEROGIS *et al.*, 2008; DOS SANTOS *et al.*, 2007; MONACHE *et al.*, 1983). Alguns dados levantados por Zan *et al.* (2018), elucidam o perfil fenólico das folhas de *Garcinia brasiliensis* cuja constituição englobou cinco biflavonóides, como a moreloflavona, quatro flavonas, dois flavonóis e um flavan-3-ol, sendo os biflavonóides os compostos predominantes no trabalho e, paralelamente, citados como característicos e marcadores quimiotaxonômicos de *Garcinia*.

Conforme reportado, análises apontam considerável existência de compostos em *Garcinia* com propriedades voltadas para o tratamento de doenças, todavia, nota-se poucas informações a respeito da constituição dos óleos essenciais das espécies desse gênero (CHAGONDA; CHALCHAT, 2005; MARTINS *et al.*, 2008). Martins *et al.* (2008) verificaram a atividade anti-inflamatória do óleo essencial do pericarpo dos frutos de *Garcinia brasiliensis*, onde os principais constituintes foram os sesquiterpenos. No que se refere ao óleo essencial das folhas, Veroneze-Jr. *et al.* (2022) observaram alterações no seu rendimento e constituição química em diferentes estações do ano. A família Clusiaceae, a qual pertence o gênero *Garcinia*, é caracterizada pelos canais e cavidades secretores foliares de diferentes metabólitos secundários, inclusive de natureza lipídica (CRONQUIST; TAKHTADZHIAN, 1981;

SANTA-CECÍLIA *et al.*, 2013). Desse modo, percebe-se a importância das análises dos óleos essenciais e de outros metabólitos de folhas em *G. brasiliensis*.

Figura 1 - Sementes após lavagem (A) e *Garcinia brasiliensis* em crescimento (B)



Fonte: Autor (2022)

## 2.2 METABOLISMO SECUNDÁRIO E ÓLEO ESSENCIAL EM PLANTAS

O metabolismo secundário, em uma visão evolutiva, possibilitou a vida de plantas terrestres e está ligado às relações entre os vegetais e o ecossistema. Relações estas que podem atuar em virtude da produção de substâncias – pigmentos, estruturas aromáticas e entre outras – responsáveis pela atração de polinizadores e dispersores de sementes, como também para repelir possíveis fitófagos, micro-organismos fitopatogênicos ou espécies competidoras (IRITI; FAORO, 2009; SAKAI; YOSHIMURA, 2012). Dentre os compostos provenientes do metabolismo secundário, pode-se citar a classe de antocianinas, quinonas, flavonoides, esteróides, alcaloides e terpenóides (THAKUR *et al.*, 2019). O óleo essencial, excepcionalmente, agrega um grupo de estruturas químicas voláteis que são encontradas em plantas e abrange terpenóides, fenilpropanóides, policetídeos e moléculas com nitrogênio e enxofre (SHARIFI-RAD *et al.*, 2017). Sua produção e secreção ocorrem em tecidos secretores específicos e tricomas glandulares localizados em folhas, flores e frutos, onde a composição majoritária é definida por mono e sesquiterpenos (SHARIFI-RAD *et al.*, 2017).



A biossíntese de terpenos pode acontecer por duas vias em tricomas glandulares. A via do ácido mevalônico no citosol produz, principalmente, precursores de sesquiterpenos e a via 2C-metil-D-eritritol-4-fosfato (MEP) nos plastídeos origina, em maior quantidade, precursores de monoterpenos (SHARIFI-RAD *et al.*, 2017). Relatos prenunciam fortemente que isopentenil pirofosfato (IPP) e dimetilalilpirofosfato (DMAPP) são intermediários da via MEP e enzimas do estroma dos leucoplastídeos iniciam a produção de monoterpenos (MARKUS LANGE; TURNER, 2013). Porém, os compartimentos intracelulares biossintéticos dos terpenos ainda não estão completamente elucidados.

De uma forma geral, os óleos essenciais surgem comumente de vias de ácidos graxos, fenilpropanóides ou isoprenóides. Os isoprenóides são formados por mono e sesquiterpenos. A fim de traçar uma rota metabólica dos terpenóides (ou terpenos), do metabolismo primário ao secundário, tem-se, primeiramente, os intermediários a partir do metabolismo primário como, acetil-CoA, acetoacetil-CoA e hidroximetil-glutaril CoA, gerando mevalonato (ou ácido mevalônico) (DAVIET; SCHALK, 2010). Esta molécula, por sua vez, origina dois precursores universais, IPP e DMAPP – ambos os compostos também são produzidos pela via MEP, que é precedida por um intermediário da glicólise, o piruvato (DAVIET; SCHALK, 2010).

Em seguida, IPP e DMAPP, são condensados através de preniltransferases que podem resultar em difosfato de geranyl (precursor de monoterpenos), difosfato de farnesil (precursor de sesquiterpenos) e difosfato de geranylgeranyl (precursor de diterpenos) (DAVIET; SCHALK, 2010). As terpeno-sintases, posteriormente, atuam na construção de esqueletos de carbono dos terpenos. Por último, mono-oxigenases e oxidoredutases promovem alterações nesses esqueletos que irão causar o aparecimento dos compostos integrantes dos óleos essenciais (DAVIET; SCHALK, 2010).

Do ponto de vista terapêutico, demonstrou-se que óleos essenciais também desenvolvem grande ação em processos biológicos. TAN *et al.* (2019) observaram a presença predominante de  $\alpha$ -copaeno (61,25%), germacreno D (6,72%) e  $\beta$ -cariofileno (5,85%) em óleo obtido de folhas de *Garcinia celebica* L. e comprovaram atuação citotóxica e antimicrobiana do extrato com todos os seus constituintes em células MCF-7 de câncer de mama e em espécies de bactéria, respectivamente. O estudo ainda sugere a ocorrência de efeitos sinérgicos entre os compostos do óleo essencial de acordo com os dados de citotoxicidade em MCF-7 e a literatura.

Outros aspectos bioquímicos muito importantes em plantas superiores são as enzimas PAL e TAL, fenilalanina amônia liase e tirosina amônia liase, respectivamente. Ambas são cruciais na síntese de compostos fenólicos. PAL possui atividade na via que leva à produção de fenilpropanóides e na desaminação do aminoácido fenilalanina. Já TAL desamina L-tirosina

para a formação de ácido p-cumárico (MEHTA; BHAVNARAYANA, 1981). Os ácidos caféico e cinâmico originam-se de fenilpropano e são substâncias com atividade biológica com apenas um anel fenólico substituído. Os flavonoides, outros compostos fenólicos, são produzidos contra a infecção de micro-organismos e estão em vários órgãos da planta (SEN; SAMANTA, 2014), atuando principalmente como agentes antioxidantes para proteção das plantas contra uma diversidade de estresses bióticos e abióticos (THAKUR *et al.*, 2019; YAN *et al.*, 2011).

O papel ecológico dos óleos essenciais pode aplicar-se tanto à interação abiótica quanto à interação biótica. Nos aspectos abióticos situa-se a luz, temperatura, CO<sub>2</sub> e ozônio, já em bióticos há um grande espectro de organismos vivos relacionados: desde herbívoros a micro-organismos, polinizadores e espécies vegetais competidoras (HOLOPAINEN; BLANDE, 2013; SHARIFI-RAD *et al.*, 2017; WAR *et al.*, 2011; WAR *et al.*, 2012). Algumas das funções ecológicas assimiladas à existência de voláteis da planta (como são conhecidos os óleos essenciais ainda no vegetal) possuem efeito alelopático - como é o caso de monoterpenos exibindo inibição de germinação de sementes e de competição -, desencadeiam sinalização e defesa e auxiliam na adaptação de certos estresses abióticos (PICHESKY & GERSHENZON, 2002; SAKAI & YOSHIMURA, 2012; SHARIFI-RAD *et al.*, 2017).

A biossíntese dos óleos essenciais pode ser influenciada pela luz, CO<sub>2</sub>, corrente de ar e ozônio (SHARIFI-RAD *et al.*, 2017). Isoprenos e monoterpenos, por exemplo, levam ao aumento da tolerância térmica da fotossíntese, proteção do aparelho fotossintético e permitem a continuidade da atividade fotossintética em estresse a temperaturas maiores que 40°C, com estabilização da membrana do tilacóide e eliminação de espécies reativas de oxigênio (PICHESKY; GERSHENZON, 2002).

Os elicitores (ou indutores) bióticos e abióticos são uma forma de levar à produção melhorada de metabólitos secundários para a adaptação e sobrevivência das plantas. Elicitores bióticos, como proteínas e carboidratos, exercem influência na síntese e acumulação de compostos do metabolismo secundário (GADZOVSKA SIMIC *et al.*, 2015; HU *et al.*, 2003; THAKUR *et al.*, 2019). Em paralelo, os elicitores abióticos são dados pela luz, salinidade, temperatura, seca e metais pesados e podem, também, induzir a formação de moléculas secundárias específicas (THAKUR *et al.*, 2019).

### 2.3 IMPORTÂNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR EM PLANTAS E O USO DE MALHAS COLORIDAS NA PRODUÇÃO DE METABÓLITOS SECUNDÁRIOS

Muitas respostas dos vegetais são condicionadas à radiação solar por meio da ação de fotorreceptores. Fotorreceptores expressam diferenças entre si quanto à composição e arranjos e, com isso, detêm, paralelamente, espectros de ação e funções distintas (TAIZ *et al.*, 2017). Receptores UVR8 (absorção na região da luz ultra-violeta) e criptocromos (absorção, principalmente, na região da luz azul) estão relacionados à morfologia, pigmentação e ciclos circadianos; fototropinas ao fototropismo, morfologia, processo fotossintético e abertura estomática; e fitocromos à pigmentação, morfologia, processo fotossintético e ciclos circadianos (CASAL, 2000; FOLTA; CARVALHO, 2015; THOMA *et al.*, 2020).

Os fitocromos são fotorreceptores responsáveis pela resposta fotomorfogênica e absorvem os comprimentos de onda no vermelho e vermelho distante, azul e radiação UV-A, no entanto, a absorção mais proeminente é oriunda do vermelho e vermelho distante (TAIZ *et al.*, 2017). Desta maneira, os fitocromos apresentam as formas Pr (inativa e absorve a radiação no comprimento de onda do vermelho) e Pfr (ativa e absorve a radiação no comprimento de onda do vermelho distante), que são interconversíveis, de acordo com a radiação recebida (FOLTA; CARVALHO, 2015; NAKASAKO *et al.*, 2005; TAIZ *et al.*, 2017). Assim, a forma Pr, quando absorve luz no comprimento de onda no vermelho, é rapidamente convertida em Pfv e tem-se o fitocromo ativado. Em contrapartida, a incidência de luz vermelho distante promove a reversão do fitocromo ativo (Pfv) em fitocromo inativo (Pr) (NAKASAKO *et al.*, 2005).

A quantidade da luz (fótons) sobre as plantas também exerce uma função notável em razão dos valores de radiação e o que verdadeiramente é absorvido pelos fotorreceptores para culminar em uma fotorresposta (TAIZ *et al.*, 2017). Desse modo, a intensidade da radiação incidente também exerce influência sobre os processos fisiológicos das plantas, inclusive afetando a produção de metabólitos secundários (CHAGAS *et al.*, 2013). Assim, as características qualitativas e quantitativas da luz assumem um alvo de estudos adicionais para vegetais.

Uma das técnicas mais promissoras utilizadas para o cultivo comercial na horticultura tem sido a aplicação de filmes de polietileno ou malhas com cores específicas para filtrar o espectro da radiação solar incidente e inibir comprimentos de onda específicos (CORRÊA *et al.*, 2012; DÍAZ-PÉREZ; ST. JOHN, 2019; TSORMPATSIDIS *et al.*, 2008). TAFOYA *et al.* (2018) identificaram, quando relacionado à malha preta, maior presença de luz azul no ambiente com a malha azul, entre 400-570 nm, e maior presença de luz vermelha e densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) com o uso da malha vermelha. A utilização de filmes transparentes bloqueadores de radiação UV no cultivo de alface levou à menor produção de

metabólitos secundários (compostos fenólicos totais, antocianinas e flavonoides) e maior crescimento vegetativo em relação às plantas cultivadas na ausência dos filmes (TSORMPATSIDIS *et al.*, 2008).

No caso da utilização de malhas coloridas no cultivo de *Pittosporum variegatum*, a malha vermelha propiciou aumento no alongamento de ramos, enquanto a malha azul resultou em baixo crescimento (nanismo) (OREN-SHAMIR *et al.*, 2001). A produção de área foliar e de biomassa seca em plantas de *Mentha piperita* foi influenciada pela qualidade da radiação, com maiores valores sob as malhas preta e vermelha (ambas com 50% de sombreamento). Por outro lado, a produção e a composição de óleo essencial foram influenciadas pela quantidade e pela qualidade da radiação incidente (COSTA *et al.*, 2012).

Plantas de *Capsicum annum* L. também tiveram as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a*, teor de pigmentos, a atividade antioxidante e o conteúdo de flavonoides e compostos fenólicos influenciados pela qualidade da radiação incidente - com ênfase para as malhas vermelha e prata e para o tratamento sem malhas (DÍAZ-PÉREZ; ST. JOHN, 2019). Adicionalmente, a anatomia das folhas de *Butia capitata* foi alterada em função da quantidade e qualidade da radiação e a malha vermelha foi apontada como a melhor alternativa para o cultivo da espécie devido à anatomia dos estômatos, que sugere um formato elíptico e pode apresentar alta funcionalidade, das plantas desenvolvidas nessa condição (COSTA *et al.*, 2018).

O uso de malhas coloridas tem sido aplicado para auxiliar na produção de óleo essencial de diferentes espécies. Folhas de orégano cultivadas em diferentes malhas tiveram a quantidade e a composição do óleo essencial influenciadas pela qualidade de luz incidente (CORRÊA *et al.*, 2012). Em contrapartida, folhas de *Mentha arvensis* não tiveram a composição do óleo essencial afetada pela qualidade, mas, sim, pela quantidade da radiação (CHAGAS *et al.*, 2013). Em folhas de *Achillea millefolium* L., a malha azul levou ao aumento do teor de óleo essencial (LIMA *et al.*, 2019). Já em *Pogostemon cablin* sob malha vermelha, foi observado maior teor de patchoulol no óleo essencial (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Com isso, o uso de malhas com colorações diversas pode-se constituir um elicitador abiótico para a produção de óleos essenciais pelas folhas de *G. brasiliensis*.

## REFERÊNCIAS

- ARWA, P. S. *et al.* Redox-active biflavonoids from *Garcinia brasiliensis* as inhibitors of neutrophil oxidative burst and human erythrocyte membrane damage. **Journal of Ethnopharmacology**, [East Park Shannon], v. 174, p. 410-418, 2015.
- CASAL, J. J. Phytochromes, cryptochromes, phototropin: photoreceptor interactions in plants. **Photochemistry and Photobiology**, [s. l.], v. 71, n. 1, p. 1-11, 2000.
- CHAGAS, J. H. *et al.* Produção, teor e composição química do óleo essencial de hortelã-japonesa cultivada sob malhas fotoconversoras. **Horticultura Brasileira**, [Brasília], v. 31, n. 2, p. 297-303, 2013.
- CHAGONDA, L. S.; CHALCHAT, J. C. The essential oil of the fruit of *Garcinia huillensis* Welw. ex. Oliv. from Zimbabwe. **Flavour and Fragrance Journal**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 313-315, 2005.
- CORRÊA, R. M. *et al.* Crescimento de plantas, teor e qualidade de óleo essencial de folhas de orégano sob malhas coloridas. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 5, n. 1, p. 11-22, 2012.
- CORRÊA, R. S. *et al.* Lupeol. **Acta Crystallographica Section C: Crystal Structure Communications**, Hoboken, v. 65, n. 3, p. 97-99, 2009.
- COSTA, A. G. *et al.* Crescimento vegetativo e produção de óleo essencial de hortelã-pimenta cultivada sob malhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 534-540, 2012.
- COSTA, B. N. S. *et al.* Anatomical modifications of *butia capitata* propagated under colored shade nets. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 4, p. 3615-3624, 2018.
- CRONQUIST, A.; TAKHTADZHIAN, A. L. **An integrated system of classification of flowering plants**. New York: Columbia University Press, 1262 p., 1981.
- DA SILVA, C. A. *et al.* Evaluating four modes of extraction to analyze bioactive compounds in *Garcinia brasiliensis* (bacupari) by high-performance liquid chromatography diode-array detection (HPLC-DAD). **Natural Product Research**, [Oxon], v. 35, n. 21, p. 4073-4077, 2020.
- DAVIET, L.; SCHALK, M. Biotechnology in plant essential oil production: progress and perspective in metabolic engineering of the terpene pathway. **Flavour and Fragrance Journal**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 123-127, 2010.
- DE CASTRO MOREIRA, M. E. *et al.* Bacupari peel extracts (*Garcinia brasiliensis*) reduce high-fat diet-induced obesity in rats. **Journal of Functional Foods**, [Amsterdã], v. 29, p. 143-153, 2017.
- DE MELO, A. M. *et al.* *Garcinia brasiliensis* fruits and its by-products: Antioxidant activity, health effects and future food industry trends – A bibliometric review. **Trends in Food Science and Technology**, Reino Unido, v. 112, p. 325-335, 2021.

DEROGIS, P. B. M. C. *et al.* Complete assignment of the <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C NMR spectra of garciniaphenone and keto-enol equilibrium statements for prenylated benzophenones. **Magnetic Resonance in Chemistry**, Reino Unido, v. 46, n. 3, p. 278-282, 2008.

DÍAZ-PEREZ, J. C.; St. JOHN, K. Bell Pepper (*Capsicum annum* L.) under Colored Shade Nets: Plant growth and physiological responses. **HortScience**, [Alexandria], v. 54, n. 10, p. 1795-1801, 2019.

DOS SANTOS, M. H. *et al.* Efeito de constituintes químicos isolados da casca do fruto de *Rheedia gardneriana* sobre a eclosão de juvenis de *Meloidogyne incognita* raça 3. **Latin American Journal of Pharmacy**, [Buenos Aires], v. 26, n. 5, p. 711-714, 2007.

DUNTHORN, M. Cryptic dioecy in *Mammea* (Clusiaceae). **Plant Systematics and Evolution**, Áustria, v. 249, p. 191-196, 2004.

FOLTA, K. M.; CARVALHO, S. D. Photoreceptors and control of horticultural plant traits. **HortScience**, [Alexandria], v. 50, n. 9, p. 1274-1280, 2015.

GADZOVSKA SIMIC, S. *et al.* Polysaccharide elicitors enhance phenylpropanoid and naphthodianthrone production in cell suspension cultures of *Hypericum perforatum*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, Suíça, v. 122, p. 649-663, 2015.

HOLOPAINEN, J. K.; BLANDE, J. D. Where do herbivore-induced plant volatiles go?. **Frontiers in plant science**, [Lausana], v. 4, p. 185, 2013.

HU, X. *et al.* Hydrogen peroxide and jasmonic acid mediate oligogalacturonic acid-induced saponin accumulation in suspension-cultured cells of *Panax ginseng*. **Physiologia Plantarum**, [Lund], v. 118, n. 3, p. 414-421, 2003.

IRITI, M.; FAORO, F. Chemical diversity and defence metabolism: How plants cope with pathogens and ozone pollution. **International Journal of Molecular Sciences**, [Basiléia], v. 10, n. 8, p. 3371-3399, 2009.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo, EPU. 526 p., 2000.

LEITE, P. M. *et al.* Recent progress in phytotherapy: A Brazilian perspective. **European Journal of Integrative Medicine**, Alemanha, v. 41, p. 101270, 2021.

LIMA, M. C. *et al.* Plants of *Achillea millefolium* L. grown under colored shading nets have altered secondary metabolism. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 104-111, 2019.

MARKUS LANGE, B.; TURNER, G. W. Terpenoid biosynthesis in trichomes-current status and future opportunities. **Plant Biotechnology Journal**, [Oxford], v. 11, n. 1, p. 2-22, 2013.

MARTINS, F. T. *et al.* Composition, and anti-inflammatory and antioxidant activities of the volatile oil from the fruit peel of *Garcinia brasiliensis*. **Chemistry & Biodiversity**, [Weinheim], v. 5, n. 2, p. 251-258, 2008.

MEHTA, P. M.; BHAVNARAYANA, K. Role of phenylalanine and tyrosine ammonia lyase enzymes in the pigmentation during development of brinjal fruit. **Proceedings: Plant Sciences**, Índia, v. 90, n. 4, p. 293-297, 1981.

MENON, L. N. *et al.* Profiles of volatile chemicals from the leaves of six *Garcinia* species from North East India. **Natural Product Research**, [Oxon], v. 35, n. 13, p. 2269-2273, 2021.

MONACHE, G. D. *et al.* Chemical investigation of the genus *Rheedia*. II. Prenylated xanthenes from *Rheedia gardneriana*. **Journal of Natural Products**, [Washington], v. 46, n. 5, p. 655-659, 1983.

NAKASAKO, M. *et al.* Light-induced global structural changes in phytochrome A regulating photomorphogenesis in plants. **The FEBS Journal**, [s. l.], v. 272, n. 2, p. 603-612, 2005.

NEVES, J. S. *et al.* Antianaphylactic properties of 7-epiclusianone, a tetraprenylated benzophenone isolated from *Garcinia brasiliensis*. **Planta Medica**, [Stuttgart], v. 73, n. 07, p. 644-649, 2007.

OREN-SHAMIR, M. *et al.* Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. **Journal Horticultural Science Biotechnology**, [Londres], v. 76, n. 3, p. 353-361, 2001.

PICHERSKY, E.; GERSHENZON, J. The formation and function of plant volatiles: Perfumes for pollinator attraction and defense. **Current Opinion in Plant Biology**, Reino Unido, v. 5, n. 3, p. 237-243, 2002.

RAMESHKUMAR, K. B. **Diversity of *Garcinia* species in the Western Ghats: Phytochemical Perspective**. Jawaharlal Nehru Tropical Botanic Garden and Research Institute, Palode, Thiruvananthapuram, Índia, 204 p., 2017.

RIBEIRO, A. S. *et al.* Colored shade nets induced changes in growth, anatomy and essential oil of *Pogostemon cablin*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 2, p. 1823-1835, 2018.

SAKAI, A.; YOSHIMURA, H. Monoterpenes of *Salvia leucophylla*. **Current Bioactive Compounds**, [Sharjah], v. 8, n. 1, p. 90-100, 2012.

SANTA-CECÍLIA, F. V. *et al.* Estudo farmacobotânico das folhas de *Garcinia brasiliensis* Mart. (Clusiaceae). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Maringá, v. 15, n. 3, p. 397-404, 2013.

SEN, T.; SAMANTA, S. K. Medicinal plants, human health and biodiversity: a broad review. **Biotechnological Applications of Biodiversity**, [Nova Iorque], v. 147, p. 59-110, 2014.

SHARIFI-RAD, J. *et al.* Biological Activities of Essential Oils: From Plant Chemoecology to Traditional Healing Systems. **Molecules**, [East Park Shannon], v. 22, n. 1, p. 70, 2017.

SOARES-BEZERRA, R. J. *et al.* Natural products as a source for new anti-inflammatory and analgesic compounds through the inhibition of purinergic P2X receptors. **Pharmaceuticals**, [Basiléia], v. 6, n. 5, p. 650-658, 2013.

- SOUZA, H. R. *et al.* Evaluation of the healing properties of *Garcinia brasiliensis* extracts in a cutaneous wound model. **Journal of Ethnopharmacology**, [East Park Shannon], v. 295, p. 115334, 2022.
- TAFUYA, F. A. *et al.* Sunlight transmitted by colored shade nets on photosynthesis and yield of cucumber. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 9, p. 1–9, 2018.
- TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 858 p., 2017.
- TAN, W. *et al.* Sesquiterpenes rich essential oil from *Garcinia celebica* L. and its cytotoxic and antimicrobial activities. **Natural Product Research**, [Oxon], p. 1-5, 2019.
- THAKUR, M. *et al.* Improving production of plant secondary metabolites through biotic and abiotic elicitation. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, [Stuttgart], v. 12, p. 1-12, 2019.
- THOMA, F. *et al.* Effects of Light on Secondary Metabolites in Selected Leafy Greens: A Review. **Frontiers in Plant Science**, [Lausana], v.11, p. 1-15, 2020.
- TSORMPATSIDIS, E. *et al.* UV irradiance as a major influence on growth, development and secondary products of commercial importance in Lollo Rosso lettuce 'Revolution' grown under polyethylene films. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], v. 63, n. 1-3, p. 232-239, 2008.
- WAR, A. R. *et al.* Herbivore induced plant volatiles: their role in plant defense for pest management. **Plant signaling and behavior**, [Londres], v. 6, n. 12, p. 1973-1978, 2011.
- WAR, A. R. *et al.* Mechanisms of plant defense against insect herbivores. **Plant signaling and behavior**, [Londres], v. 7, n. 10, p. 1306-1320, 2012.
- WONG, K. W. *et al.* A new pyranoxanthone from *Garcinia nervosa*. **Natural Product Research**, [Oxon], v. 31, n. 21, p. 2513-2519, 2017.
- YAN, R. *et al.* Antioxidant flavonoids from the seed of *Oroxylum indicum*. **Fitoterapia**, [Amsterdã], v. 82, n.6, p. 841-848, 2011.
- ZAN, R. A. *et al.* Bioactive properties and phytochemical assessment of Bacupari-anão (*Garcinia brasiliensis* Mart.) leaves native to Rondônia, Brazil. **Food and Function**, [Cambridge], v. 9, n. 11, p. 5621-5628, 2018.



**Modificação da radiação por malhas fotoconversoras na busca de maior performance ecofisiológica, química e avaliação do potencial anti-inflamatório do óleo essencial de *Garcinia brasiliensis***

**Radiation modification by photoconverting nets for greater ecophysiological and chemical performance and anti-inflammatory potential of *Garcinia brasiliensis* essential oil**

Wellington Felipe dos Santos, Thiago Corrêa de Souza

**Resumo**

O uso de malhas coloridas altera a intensidade e a qualidade da radiação solar que incide sobre as plantas, podendo modificar as características morfológicas, fisiológicas e metabólicas dos vegetais, incluindo o rendimento e a composição de óleos essenciais. Assim, analisou-se a influência da intensidade e da qualidade da radiação sobre o crescimento, a eficiência fotossintética e a produção de metabólitos primários e secundários em *Garcinia brasiliensis*. O experimento foi constituído pelo cultivo das plantas de *G. brasiliensis* em seis ambientes (pleno sol e em malhas preta 50%, preta 70%, vermelha, aluminet e azul) durante 11 meses. Foram realizadas seis avaliações bimestrais, de janeiro a novembro de 2021, do crescimento da parte aérea e da eficiência fotossintética. Ao final do experimento foram quantificados os teores de carboidratos, proteínas, aminoácidos, compostos fenólicos e flavonoides de folhas e raízes. O óleo essencial foi extraído das folhas por arraste a vapor em aparelho tipo Clevenger e a atividade anti-inflamatória foi determinada. As malhas pretas promoveram maior indução apical, teor de clorofila e rendimento quântico fotossintético em comparação ao pleno sol. A malha vermelha possibilitou menor relação entre a luz vermelha e vermelho distante e induziu o crescimento apical. A malha azul aumentou a relação entre o comprimento de onda azul e vermelho e levou ao maior conteúdo de clorofila nas plantas. Nas malhas vermelha e aluminet, as plantas acumularam maior biomassa seca nas folhas, caule e raízes. A malha aluminet desempenhou um papel promissor na manutenção da fotossíntese e do rendimento fotoquímico nos meses de alta incidência de luz e temperatura. O maior rendimento do óleo essencial e o menor teor de carboidratos foram verificados em plantas cultivadas sob a malha azul, porém, as maiores atividades anti-inflamatórias foram detectadas ao pleno sol, em preto 50% e aluminet. O conteúdo de fenólicos e flavonoides de folhas foi maior à pleno sol. Por fim, o

cultivo sob aluminet pode subsidiar uma maior produção de OE com propriedade terapêutica e evitar o uso indiscriminado de *G. brasiliensis* para a mesma finalidade em condições naturais, preservando uma espécie amazônica.

Palavras-chave: luz; intensidade; qualidade; crescimento; fotossíntese; fluorescência da clorofila; óleo volátil; redução de prostaglandinas.

### **Abstract**

The use of colored nets alters the intensity and quality of solar radiation that falls on the plants, which can modify the morphological, physiological and metabolic characteristics of the plants, including the yield and composition of essential oils. Thus, the influence of radiation intensity and quality on growth, photosynthetic efficiency and the production of primary and secondary metabolites in *Garcinia brasiliensis* was analyzed. The experiment consisted of growing *G. brasiliensis* plants in six environments (full sun and in black 50%, black 70%, red, aluminet and blue mesh) for 11 months. Six bimonthly assessments were carried out, from January to November 2021, on shoot growth and photosynthetic efficiency. At the end of the experiment, the contents of carbohydrates, proteins, amino acids, phenolic compounds and flavonoids in leaves and roots were quantified. The essential oil was extracted from the leaves by steam dragging in a Clevenger type apparatus and the anti-inflammatory activity was determined. Black nets promoted higher apical induction, chlorophyll content and photosynthetic quantum yield compared to full sun. The red mesh allowed a lower relationship between red and far red light and induced apical growth. Blue mesh increased the ratio between blue and red wavelength and led to higher chlorophyll content in plants. In the red and aluminet nets, the plants accumulated more dry biomass in the leaves, stems and roots. The aluminet mesh played a promising role in maintaining photosynthesis and photochemical yield in months of high incidence of light and temperature. The highest essential oil yield and the lowest carbohydrate content were verified in plants grown under the blue net, however, the highest anti-inflammatory activities were detected in full sun, in 50% black and aluminet. The content of phenolics and flavonoids in leaves was higher in full sun. Finally, cultivation under aluminet can support a greater production of EO with therapeutic properties and avoid the indiscriminate use of *G. brasiliensis* for the same purpose under natural conditions, preserving an Amazonian species.

Keywords: light; intensity; quality; growth; photosynthesis; chlorophyll fluorescence; essential oil; prostaglandin reduction.

## 1 INTRODUÇÃO

O gênero *Garcinia* spp. pertence às Clusiaceae e possui mais de 200 espécies (ESPIRITO SANTO *et al.*, 2020; KHAPARE *et al.*, 2020) com origem na África, Ásia, Austrália, Polinésia, Nova Caledônia e Brasil. Esse gênero é alvo de prospecções fitoquímicas devido à existência de moléculas biologicamente ativas em folhas, caules e frutos (ESPIRITO SANTO *et al.*, 2020; OBOLSKIY *et al.*, 2009). Benzofenonas (e derivados) e xantonas de diferentes espécies do gênero *Garcinia*, por exemplo, demonstraram efeitos anticarcinogênicos em linhagens tumorais e anti-HIV (JIA *et al.*, 2018; PAILEE *et al.*, 2018).

*Garcinia brasiliensis* Mart. (Clusiaceae) é uma planta nativa da Amazônia, popularmente conhecida como bacuri ou bacuripari, que possui propriedades terapêuticas amplamente descritas atuando sobre doenças e estresses (ESPIRITO SANTO *et al.*, 2020; FIGUEIREDO *et al.*, 2014; GONTIJO *et al.*, 2012; NALDONI *et al.*, 2009; PEREIRA *et al.*, 2010). Extratos das folhas, sementes e cascas do fruto de *G. brasiliensis* apresentaram atividade antioxidante pela redução de radicais livres e ação antimicrobiana contra bactérias e fungos (NAVES *et al.*, 2019). Dentre as diversas substâncias isoladas de extratos de folhas e frutos de *G. brasiliensis*, está a fukugetina, também conhecida por moreloflavona (GONTIJO *et al.*, 2012; MOREIRA *et al.*, 2018). A moreloflavona é um biflavonoide de ocorrência comum em *Garcinia* e apresentou atividades antioxidante, antiproteolítica e leishmanicida, além de atuar na redução do índice de massa corporal e da lipogênese em ratos obesos (GONTIJO *et al.*, 2012; MOREIRA *et al.*, 2018; NAVES *et al.*, 2019).

Apesar da variedade de extratos e substâncias isoladas, existem poucos trabalhos relacionados aos óleos essenciais (OE) de *G. brasiliensis* (DE MELO *et al.*, 2021). O OE do pericarpo dos frutos de *Garcinia brasiliensis* apresentou constituição química abrangente e potencial anti-inflamatório (MARTINS *et al.*, 2008). Recentemente, Veroneze-Jr *et al.* (2022), pela primeira vez, extraiu o OE de folhas de *G. brasiliensis* e observou que há variação do rendimento e composição química do OE de acordo com as estações do ano, e a produção de biciclogermacreno foi associada aos meses com menor precipitação. Determinados fatores

abióticos podem contribuir para a síntese de certos metabólitos secundários para a sobrevivência das plantas (THAKUR *et al.*, 2019). Além disso, o OE apresenta compostos de interesse farmacológico, tais como,  $\alpha$ -copaeno,  $\alpha$ -cadinol,  $\beta$ -elemeno e  $\alpha$ -humuleno. Vale ressaltar que, ainda, nenhuma atividade biológica do OE de folhas dessa espécie foi encontrada na literatura.

A radiação solar incidente influencia nas respostas vegetais relacionadas ao crescimento, às trocas gasosas e dentre outros parâmetros morfogênicos (SMITH, 2000). Isso ocorre porque existem receptores específicos que, após serem ativados pela luz desencadeiam diferentes respostas nos vegetais. Os fotorreceptores UVR8 e criptocromos estão relacionados à morfologia, pigmentação e ciclos circadianos; as fototropinas ao fototropismo, morfologia, processo fotossintético e abertura estomática; e os fitocromos à pigmentação, morfologia, processo fotossintético e ciclos circadianos (CASAL, 2000; FOLTA; CARVALHO, 2015; THOMA *et al.*, 2020). Dessa maneira, variações na intensidade e na qualidade da radiação incidente desencadearão respostas diferenciadas nas plantas. Uma das técnicas mais promissoras utilizadas para o cultivo de horticulturas tem sido a aplicação de filmes de polietileno ou malhas com cores específicas para filtrar o espectro da radiação solar e direcionar a utilização de comprimentos de onda específicos (CORRÊA *et al.*, 2012; DÍAZ-PÉREZ; St. JOHN, 2019; TSORMPATSIDIS *et al.*, 2008).

As malhas coloridas alteram a intensidade e a qualidade da luz que chega até as plantas e, portanto, o seu uso pode modificar o crescimento, as trocas gasosas, o teor de pigmentos fotossintéticos e os constituintes químicos do óleo essencial de diferentes espécies vegetais (LAZZARINI *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2019; MOHD YUSOF *et al.*, 2021; RIBEIRO *et al.*, 2018). A eficiência fotossintética do fotossistema II (PSII), assim como a produção de metabólitos secundários e as estruturas secretoras de óleo, sofre variações de acordo com a intensidade e a qualidade da radiação (BARBOSA *et al.*, 2021; DÍAZ-PÉREZ; St. JOHN, 2019; HE *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2019).

Nesse contexto, o uso de malhas coloridas tem sido aplicado para auxiliar na produção de óleo essencial e de outros metabólitos visando a produção de compostos específicos em maiores quantidades (MILENKOVIC *et al.*, 2019; MILENKOVIC *et al.*, 2021), o que favorece o setor industrial. Além da variação no rendimento e nos constituintes do OE, a atividade biológica também se difere em resposta a variações na intensidade e na qualidade da radiação incidente (COLES *et al.*, 2021; ILIC *et al.*, 2021). Diante do exposto, hipotetizou-se que o uso de malhas coloridas no cultivo de *G. brasiliensis* possa influenciar a eficiência fotossintética e o crescimento das plantas, otimizar a produção de OE com maior atividade biológica e alterar

o teor de fenólicos e flavonoides. Objetivando testar a hipótese, analisou-se a influência da intensidade e da qualidade da radiação sobre o crescimento, eficiência fotossintética e produção de metabólitos primários e secundários em *Garcinia brasiliensis* e a bioatividade do OE.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 OBTENÇÃO DAS MUDAS E CONDUÇÃO EXPERIMENTAL

As mudas de *Garcinia brasiliensis* foram obtidas pela germinação de sementes recolhidas de frutos presentes em plantas cultivadas na zona rural do município de Nepomuceno, em Minas Gerais, Brasil. Para identificar a espécie, foi consultado o material vegetal armazenado no herbário UALF, localizado no Instituto de Ciências da Natureza da Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL-MG, e com registro perante o número 2566.

O processo germinativo ocorreu em sacos de 2 litros e, após 12 meses, as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade de 20 litros. O substrato de cultivo foi constituído por solo, areia e esterco bovino (4:3:1) e NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio, nas proporções 4:14:8). Em seguida, as mudas passaram por um período de aclimação por 105 dias e após esse período, foram transferidas para mini-estufas recobertas por malhas coloridas para proporcionar diferentes intensidades e qualidades de radiação (Figura S1).

As mini-estufas com dimensões de 3,5 m de comprimento, 3,11 m de largura e 1,7 m de altura foram distribuídas uniformemente no Horto de Plantas Medicinais e Florestais da Unidade Educacional Santa Clara (UNIFAL-MG). Foram utilizadas seis mini-estufas: pleno sol (sem a presença de malhas), malha preta 50% (com 50% de sombreamento), malha preta 70% (com 70% de sombreamento), malha vermelha (com 50% de sombreamento), malha aluminet (com 50% de sombreamento) e malha azul (com 50% de sombreamento). Cada mini-estufa foi coberta na parte superior e nas laterais pelas respectivas malhas de uso, com exceção do pleno sol. Todas as estufas continham uma lona transparente no teto para a contenção de água proveniente das chuvas. No total, foram cultivadas 50 mudas em cada um dos ambientes (Figura S2).

As mudas com 12 meses de idade foram transferidas para as estufas e passaram por um novo período de aclimação de 90 dias. Após o período de aclimação, iniciaram-se as análises morfofisiológicas. O experimento foi conduzido por um período de 330 dias. Foram realizadas seis avaliações, com intervalos de 60 dias entre si: nos meses de janeiro, março, maio, julho,

setembro e novembro. Cada parcela experimental era composta por um vaso contendo uma planta.

Durante todo o período experimental, as mudas foram irrigadas visando manter a umidade próxima a 80% da capacidade máxima de retenção de água pelo solo. Realizou-se adubação periódica com macro e micronutrientes utilizando-se produtos comerciais, sempre de acordo com as demandas nutricionais das plantas. Do mesmo modo, efetivou-se o controle de pragas por meio de inseticidas para a redução da perda de material vegetal.

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE

Os parâmetros climatológicos referentes à temperatura mínima, média e máxima e umidade relativa do ar, durante o período experimental, foram coletados da Estação de Machado (Machado – A567), estação mais próxima ao local de condução dos experimentos (Instituto Nacional de Meteorologia, 2021). Foram coletados parâmetros climatológicos no período de janeiro a novembro de 2021.

A caracterização da radiação do local de condução dos experimentos e dos microambientes pertencentes aos tratamentos, foi realizada pela medição da intensidade e qualidade da luz solar no interior das mini-estufas, pleno sol, preto 50%, preto 70%, vermelha, aluminet e azul, e em um ponto padronizado sem nenhum tratamento, ou seja, com ausência de estufa, mediante a um espectro-radiômetro (Luzchem, SPR-4002, Ottawa, Canadá), nos meses de janeiro, junho e agosto, entre 11 e 12h e próximo aos dias de análises. As leituras foram selecionadas na faixa de 250 a 850 nanômetros (nm), de 8 em 8 segundos e no tempo total de 8 minutos, obtendo, então, 60 leituras para cada estufa. Calculou-se também a relação vermelho/vermelho distante (V/VD) e azul/vermelho para todos os tratamentos, de acordo com Gautier *et al.* (2005).

## 2.3 ANÁLISES MORFOFISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS E DO METABOLISMO SECUNDÁRIO

### 2.3.1 Avaliações de crescimento

Avaliou-se o comprimento apical e o diâmetro do caule das unidades amostrais. Mediu-se o comprimento do caule a partir do coleto até o ápice da gema apical com o auxílio de uma

trena. O diâmetro do caule foi aferido utilizando-se um paquímetro digital posicionado na altura do coleto.

### 2.3.2 Avaliações ecofisiológicas

Os indicadores ecofisiológicos foram mensurados em folhas adultas e totalmente expandidas. Para a padronização das coletas ao longo dos meses, sinalizou-se (com fita colorida) todas as folhas de análise. Para isso, considerou-se a última folha completamente expandida no momento da primeira avaliação. Assim, utilizou-se a mesma folha para as avaliações ecofisiológicas em todos os tempos de coleta.

#### 2.3.2.1 Teor relativo de clorofila

O teor relativo de clorofila foi determinado através do índice SPAD (em unidades de SPAD) gerado pelo clorofilômetro SPAD 502-Plus (Konica Minolta, Osaka, Japão).

#### 2.3.2.2 Taxa fotossintética líquida

A taxa fotossintética líquida ( $A_N$ ) foi analisada em um medidor de gases infravermelho, IRGA – Infrared Gas Analyzer, LI 6400 XT (LI-COR, Lincoln, Nebraska, EUA) entre 9:00 e 11:00h, em folhas sob radiação fotossinteticamente ativa artificial de  $1.000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . A elucidação da radiação selecionada para *Garcinia brasiliensis* ocorreu após a construção de uma curva de luz padrão e determinação do ponto de saturação luminoso das plantas em estudo.

#### 2.3.2.3 Fluorescência da clorofila *a*

A fluorescência da clorofila *a* foi avaliada por meio de um fluorômetro de imagem modulada (FluorCAM Closed FC 800-C, PhotonSystems Instruments – PSI, Ltda, República Tcheca). As folhas foram submetidas ao escuro durante 30 minutos e realizou-se as medições baseando-se no protocolo de *quenching* (OXBOROUGH; BAKER, 1997), com variação do obturador eletrônico entre 20 e 33,33  $\mu\text{s}$  e sensibilidade entre 10 e 20%. Posteriormente, selecionou-se QY (rendimento quântico efetivo do fotossistema (PSII)),  $F_v/F_m$  (rendimento

quântico máximo do fotossistema (PSII)), qP (*quenching* fotoquímico), qN (*quenching* não-fotoquímico) e Rfd (taxa de decréscimo da fluorescência) para representação da presente avaliação.

### 2.3.3 Quantificação de metabólitos primários

Foram determinadas as concentrações de amido, açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR), aminoácidos e proteínas.

Inicialmente, 400 mg de massa seca de folhas e raízes foram colocadas em tubo de centrifugação contendo 10 mL de um mix constituído por metanol, clorofórmio e água (3: 1: 1) e, logo após, homogeneizadas. Em sequência, posteriormente ao contato do mix por 24 horas com as amostras provenientes de folhas e raízes, a mistura foi centrifugada (em 1300 rpm, por 30 minutos). O sobrenadante foi coletado e utilizado para a quantificação de AST, AR, aminoácidos e proteínas. O *pellet* foi ressuspenso em 3mL de ácido perclórico 30% (RABÊLO *et al.*, 2019) para a extração do amido. A mistura foi incubada em temperatura ambiente por 24 horas e, em seguida, foi centrifugada a 1300 rpm durante 30 minutos. O sobrenadante foi utilizado para a quantificação de amido.

A quantificação de AST e amido foi realizada pelo método da antrona, com base em uma curva-padrão com concentrações conhecidas de glicose (YEMM; WILLIS, 1954). Os AR foram quantificados pelo método do ácido dinitrossalicílico, com base, novamente, em uma curva-padrão de glicose (MILLER, 1959). Os aminoácidos foram quantificados pelo método de ninhidrina, tendo como referência a curva-padrão de glicina (YEMM *et al.*, 1955) e a concentração de proteínas solúveis totais foi determinada pelo método descrito por Bradford (1976), baseado em uma curva-padrão de albumina de soro bovino, BSA.

### 2.3.4 Extração do óleo essencial (OE)

Foram utilizadas folhas frescas para a extração do OE. As amostras, de cerca de 250 g de folhas, foram coletadas em triplicatas, no início da manhã. O OE foi extraído no mês de setembro por arraste de vapor em aparelho tipo Clevenger modificado. Após pesagem e trituração, as folhas foram colocadas em balão de extração com adição de água destilada em volume proporcional à quantidade de fragmentos foliares. O tempo de extração foi equivalente a 4 horas. Logo em seguida, o OE retido foi coletado e armazenado a -20°C para subsequente quantificação e identificação em cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de massas.



Calculou-se o rendimento do OE com base em biomassa fresca de folhas e de acordo com a equação: [massa de óleo essencial  $\times$  100/biomassa fresca de folhas].

### 2.3.5 Atividade biológica do óleo essencial

A atividade biológica do OE foi testada em ensaio anti-inflamatório *ex vivo* em sangue total, de acordo com Rosa *et al.* (2021). Cerca de 200  $\mu$ L de sangue total humano fresco e heparinizado foi incubado com amostras de óleo essencial (referentes a pleno sol, preto 50%, preto 70%, vermelho, aluminet e azul) e medicamentos descritos pela literatura (caracterizados como controles positivos) em placas de 96 poços. Para o estímulo de um processo inflamatório, aplicou-se uma solução de LPS com concentração final de 10  $\mu$ g mL<sup>-1</sup>. Dexametasona e indometacina (controles positivos deste ensaio) foram diluídos, primeiramente, em etanol-água (1:1, v/v) como soluções-estoque a 1 mg mL<sup>-1</sup> e, em seguida, diluídos em PBS para uso na concentração de 1  $\mu$ g mL<sup>-1</sup>. A concentração utilizada para as amostras de OE foi de 10  $\mu$ g mL<sup>-1</sup>. Já o controle negativo, estabeleceu-se como sendo o sangue total com LPS e ausência de tratamento. As diluições do controle negativo, das amostras de OE e dos controles positivos ocorreram em PBS. Realizou-se o experimento em quatro repetições para cada tratamento e controle. Após 24 horas de incubação (em 37° C e 5% de atmosfera de CO<sub>2</sub>), centrifugou-se a placa a 1.000 rpm, durante 5 minutos e a 4° C. Finalmente, coletou-se o plasma para análise de PGE<sub>2</sub> em cromatografia líquida acoplada a um espectrômetro de massas.

### 2.3.6 Quantificação de compostos fenólicos e flavonoides totais

Compostos fenólicos e flavonoides foram extraídos de 500 mg de massa seca de folhas e raízes, em maceração overnight com 4 mL de etanol absoluto. Em seguida, as amostras foram centrifugadas (4000 rpm, 20 °C, por 30 minutos) e o sobrenadante coletado para a quantificação de compostos fenólicos, baseado em Ainsworth & Gillespie (2007), no espectrofotômetro, em 720 nm. Os flavonoides foram quantificados tendo como referência a curva padrão de quercetina e leituras em 415 nm (PARK *et al.*, 1997).

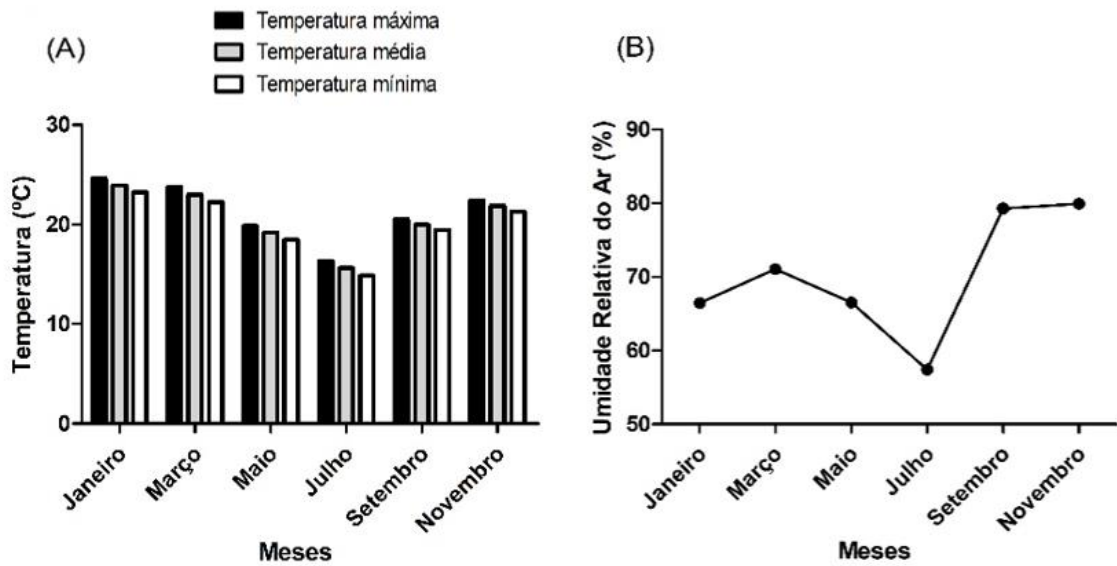
### 2.3.7 Arranjo experimental e análise estatística

Os tratamentos foram compostos de seis ambientes para avaliar o efeito da intensidade e qualidade da radiação sobre os parâmetros morfofisiológicos de *G. brasiliensis* e a produção de metabólitos primários e secundários. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado e com oito repetições.

O processamento estatístico dos dados de crescimento, ecofisiológicos e bioquímicos foi realizado pela aquisição das médias e o erro padrão, seguida pela análise de variância (ANAVA) e aplicação do teste de comparação de médias Scott-Knott, com 0,05% de significância ( $p \leq 0.05$ ), no programa SISVAR versão 5.8 (FERREIRA, 2019). Para o rendimento e a atividade biológica do óleo essencial, utilizou-se a análise ANOVA e o teste de comparação múltipla de Dunnett no GraphPad Prism® 6 (GraphPad Software®, La Jolla, Califórnia, EUA).

### **3 RESULTADOS**

As maiores temperaturas foram observadas nos meses de janeiro e março com máxima, mínima e média de 24,6, 23,2 e 23,9 °C e 23,7, 22,2 e 23,0 °C, respectivamente (Figura 1A). Em contrapartida, os meses de maio e julho apontam as menores temperaturas, com destaque para o mês de julho, onde foram observados valores mínimos de 14,9 °C (Figura 1A). As temperaturas nos meses de setembro e novembro também foram altas, chegando a 22,4 °C, mas, ainda assim, menores em comparação aos meses de janeiro e março (Figura 1A). Em relação à umidade relativa do ar, nos meses de setembro e novembro observou-se os maiores valores, aproximadamente 79%, e no mês de julho constatou-se a menor umidade, chegando a 57% (Figura 1B).

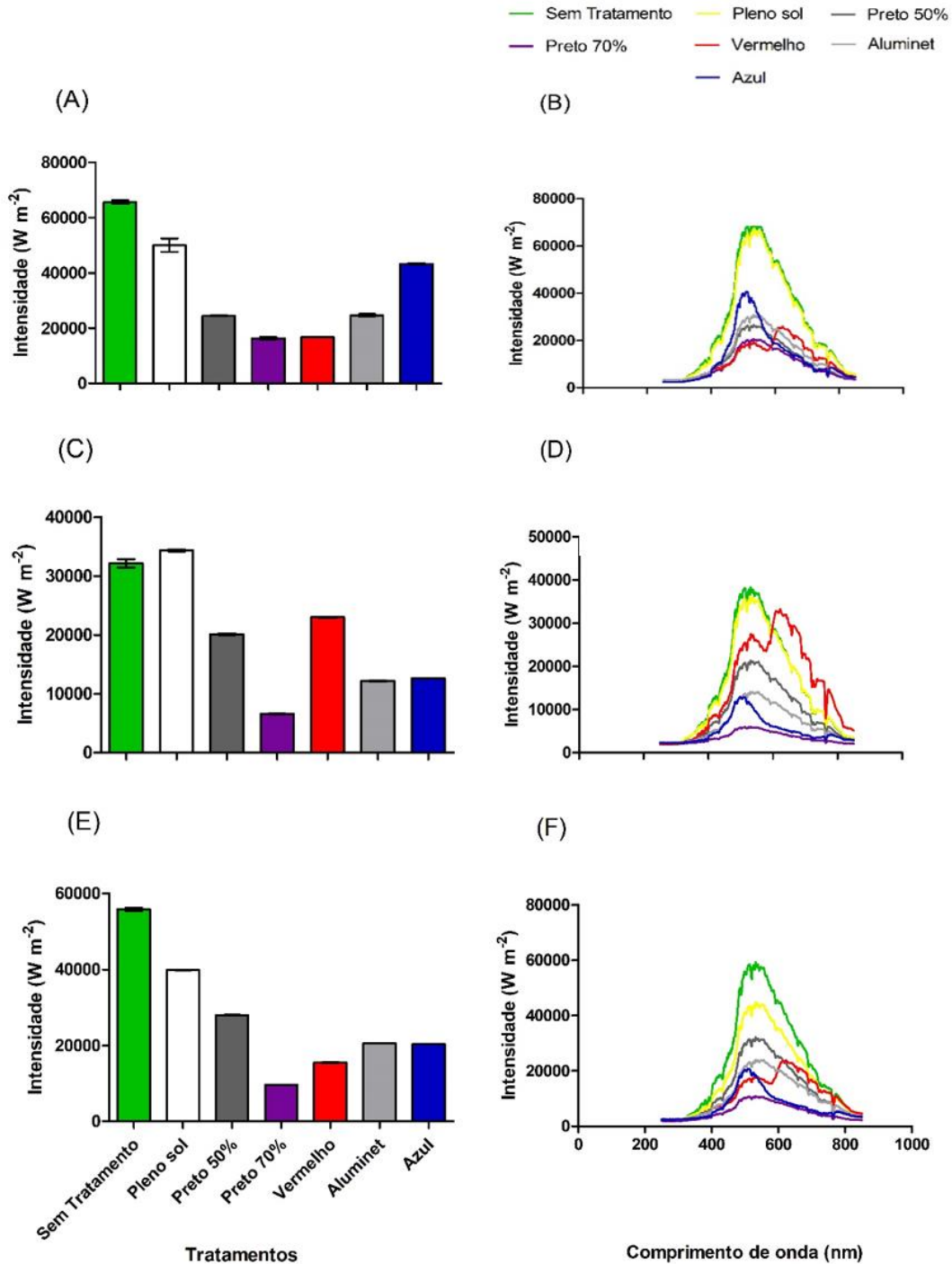


**Figura 1.** Temperaturas máxima, mínima e média (A) e umidade relativa do ar (B) do local de condução dos experimentos, nos meses de janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro.  
Fonte: Autor (2022)

O ambiente sem tratamento apresentou a maior radiação no mês de janeiro (Figura 2A). A segunda maior intensidade solar, também no mês de janeiro (Figura 2A), configurou-se na estufa pleno sol e apenas no mês de junho (Figura 2B) superou o ambiente sem tratamento. No entanto, o tratamento preto 70% proporcionou a menor radiação incidente nos três meses analisados (Figura 2A; 2C; 2E). Já a malha preta 50% permitiu a incidência de uma intensidade intermediária ( $24185,83 \text{ W m}^{-2}$ ) entre pleno sol ( $41390,93 \text{ W m}^{-2}$ ) e preto 70% ( $10851,20 \text{ W m}^{-2}$ ) (Figura 2A; 2C; 2E). Verifica-se, também, o decaimento da incidência de luz entre os meses de janeiro e junho pela observância do local com ausência de estufas, o que está diretamente relacionado com as diferentes estações do ano. No mês de agosto, a radiação global aumentou novamente com um valor próximo ao mês de janeiro (Figura 2E). Nota-se que preto 50%, preto 70%, pleno sol, aluminet e o local sem tratamento demonstraram um pico de intensidade mais próximo a 600 nanômetros (nm) nos meses de janeiro, junho e agosto (Figura 2B; 2D; 2F).

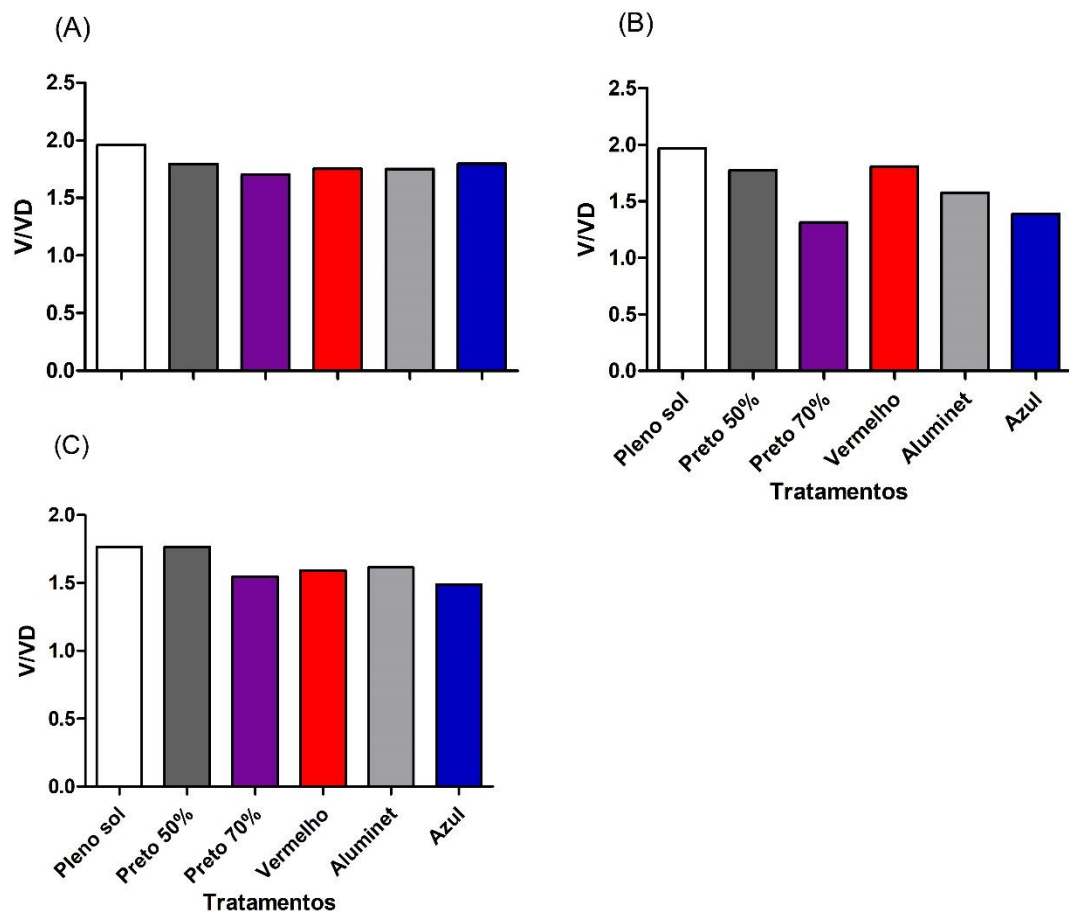
As estufas com malha vermelha, aluminet e azul (todas constituídas de 50% de sombreamento) levaram a uma redução da intensidade da radiação, com determinadas variações, em seus respectivos microambientes e nos três meses de leitura, quando comparadas ao ambiente sem tratamento e pleno sol (Figura 2A; 2C; 2E). Na estufa vermelha foi evidenciado dois picos de intensidade, o primeiro na faixa de 480 a 600 nm e o segundo entre

600 e 680 nm (Figura 2B; 2D; 2F). O comprimento de onda da estufa azul esteve ligeiramente antes de 480 nm (Figura 2B; 2D; 2F).



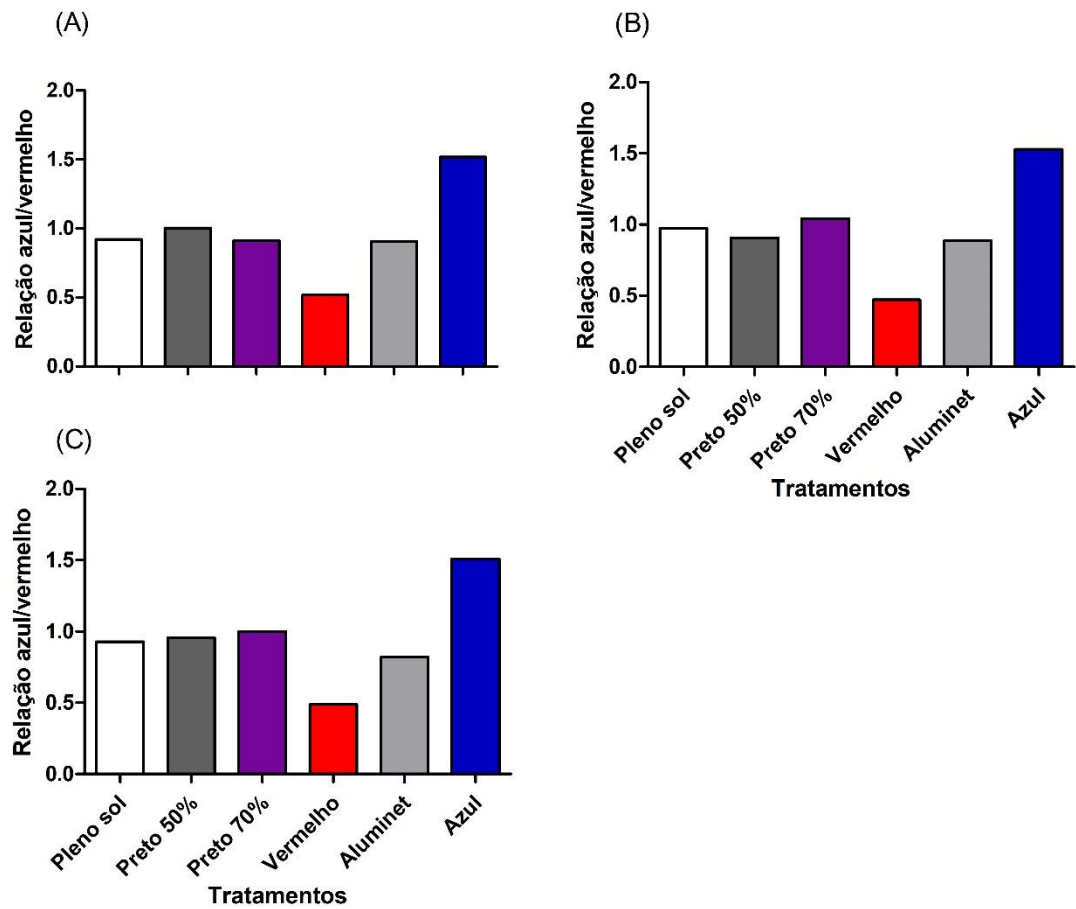
**Figura 2.** Intensidade da radiação incidente (A; C; E) e espectro da radiação solar (B; D; F) no ponto sem tratamento e nas mini-estufas pleno sol, preto 50%, preto 70%, vermelha, aluminet e azul, nos meses de janeiro, junho e agosto, respectivamente. As barras correspondem ao erro padrão da média (n=60).  
 Fonte: Autor (2022)

No mês de janeiro, a relação vermelho/vermelho distante (V/VD) não apresentou grandes diferenças entre os tratamentos. Apenas pleno sol levou a um aumento de V/VD (Figura 3A). O ambiente com malha vermelha proporcionou um decréscimo de V/VD em comparação, principalmente, a pleno sol em todos meses de leitura, sugerindo maior presença de vermelho distante no interior da estufa (Figura 3B e C). Em junho, o maior valor de V/VD foi observado em pleno sol (Figura 3B). Já em agosto, preto 50% e, novamente, pleno sol propiciaram um aumento de V/VD (Figura 3C).



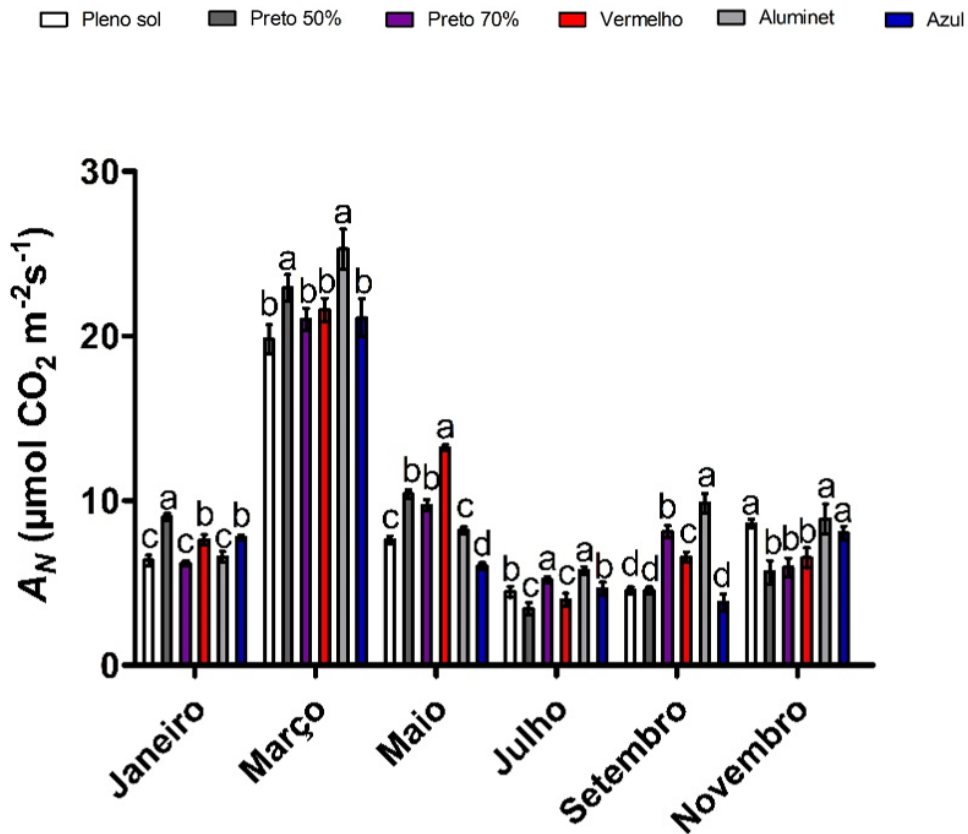
**Figura 3.** Relação vermelho/vermelho distante – V/VD das mini-estufas pleno sol, preto 50%, preto 70%, vermelha, aluminet e azul, nos meses de janeiro (A), junho (B) e agosto (C).  
Fonte: Autor (2022)

Em todas as mensurações (janeiro, junho e agosto), observou-se que a relação azul/vermelho foi maior no interior da estufa azul e, nitidamente, menor nos demais tratamentos. No entanto, a maior redução de azul/vermelho ocorreu na estufa vermelha (Figura 4A, B e C).



**Figura 4.** Relação azul/vermelho nas mini-estufas pleno sol, preto 50%, preto 70%, vermelha, aluminet e azul, nos meses de janeiro (A), junho (B) e agosto (C) de acordo com Gautier *et al.* (2005).  
Fonte: Autor (2022)

No mês de janeiro, foi possível observar um incremento na taxa fotossintética líquida ( $A_N$ ) em plantas cultivadas na estufa com malha preta 50% em relação aos outros tratamentos (Figura 5). No mês de março, preto 50% e aluminet promoveram a maior  $A_N$ . Já no mês de maio, a maior taxa fotossintética foi verificada em plantas sob malha vermelha. Em julho, preto 70% e aluminet propiciaram a maior  $A_N$ . No mês de setembro, as plantas cultivadas na estufa aluminet apresentaram maior  $A_N$ . Em novembro, a maior taxa de fotossíntese foi identificada em plantas das estufas pleno sol, aluminet e azul.



**Figura 5.** Taxa fotossintética líquida -  $A_N$  em plantas de *Garcinia brasiliensis* cultivadas sob diferentes malhas de sombreamento: pleno sol, preto 50%, preto 70%, vermelho, aluminet e azul. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, em cada mês de avaliação, de acordo com o teste de Scott-Knott ( $p \leq 0.05$ ). As barras correspondem ao erro padrão da média ( $n=8$ ).

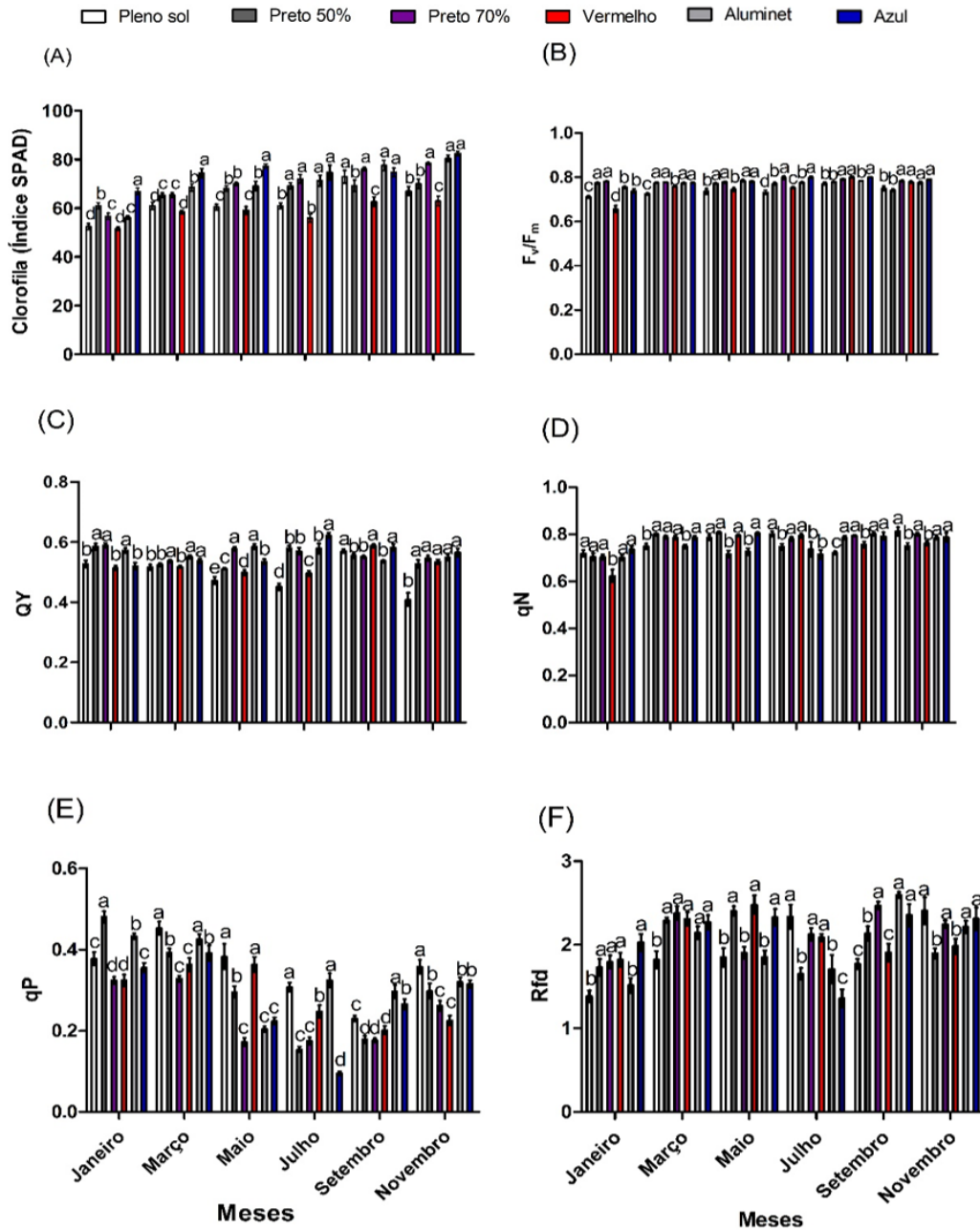
Fonte: Autor (2022)

O teor relativo de clorofila foi maior em plantas sob a malha azul e menor em plantas sob pleno sol e malha vermelha, ao longo dos meses. Preto 50% e preto 70% permitiram uma maior produção de clorofila em comparação ao pleno sol (Figura 6A).

O rendimento quântico máximo ( $F_v/F_m$ ), de janeiro a julho, foi significativamente maior entre os tratamentos preto 50%, preto 70%, aluminet e azul, com determinadas variações entre os meses. No mês de setembro, notou-se o maior  $F_v/F_m$  em plantas sob as estufas preto 70%, vermelha e azul. Já no mês de novembro, os ambientes com malhas preto 70%, vermelho, aluminet e azul geraram os maiores valores de  $F_v/F_m$  (Figura 6B). Em relação ao rendimento quântico efetivo (QY), preto 50%, preto 70%, aluminet e azul levaram aos maiores valores de janeiro a julho, também, com certas variações ao longo desses meses. Em setembro, foi possível identificar o maior QY em plantas sob pleno sol, vermelho e azul. No mês de novembro, preto 50%, preto 70%, vermelho, aluminet e azul geraram o maior QY (Figura 6C). Pleno sol, preto 50%, preto 70% e azul, no geral, apresentaram o maior *quenching* não-fotoquímico (qN)

durante os meses de avaliação (Figura 6D). O *quenching* fotoquímico (qP) em janeiro foi maior em preto 50%. Em março, maio, julho e novembro, o maior qP foi observado em pleno sol. Por outro lado, em março, julho e setembro, o maior qP foi verificado em plantas sob a malha aluminet. A estufa vermelha promoveu o maior qP apenas em maio (Figura 6E). Ao decorrer dos meses, notou-se uma das menores taxas de decréscimo da fluorescência (Rfd) em plantas cultivadas em pleno sol. Os maiores valores de Rfd em pleno sol foram observados nos meses de julho e novembro (Figura 6F).





**Figura 6.** Teor relativo de clorofila (Índice SPAD) (A), rendimento quântico máximo do PSII –  $F_v/F_m$  (B), rendimento quântico efetivo do PSII – QY (C), *quenching* não-fotoquímico - qN (D), *quenching* fotoquímico – qP (E) e taxa de decréscimo da fluorescência - Rfd (F) em plantas de *Garcinia brasiliensis* cultivadas sob diferentes malhas de sombreamento: pleno sol, preto 50%, preto 70%, vermelho, aluminet e azul. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, em cada mês de avaliação, de acordo com o teste de Scott-Knott ( $p \leq 0.05$ ). As barras correspondem ao erro padrão da média (n=8).

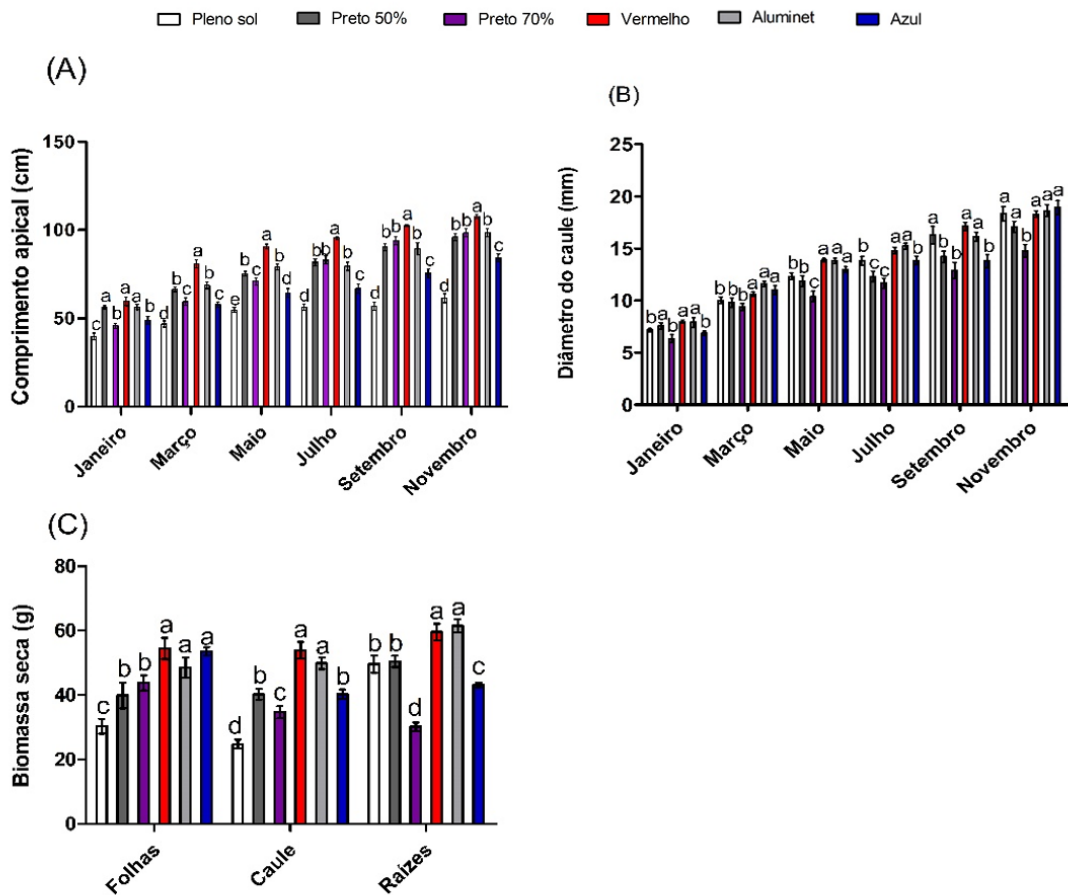
Fonte: Autor (2022)

O ambiente com malha vermelha promoveu um maior crescimento apical, enquanto o menor crescimento foi observado nas plantas das estufas pleno sol e azul ao longo dos meses.

Além disso, a partir da coleta de julho, o comprimento apical das plantas das estufas com malha preta 50 e 70% não apresentou diferenças entre si (Figura 7A).

No decorrer do tempo, o diâmetro caulinar foi significativamente maior em plantas sob menor taxa de sombreamento (pleno sol e preto 50%) e cultivadas nas estufas de malha vermelha, aluminet e azul. Entretanto, nas estufas com malha vermelha e aluminet, as plantas apresentaram o maior diâmetro do caule desde janeiro até novembro. Simultaneamente, verificou-se o menor diâmetro em plantas sob a estufa preto 70% (Figura 7B).

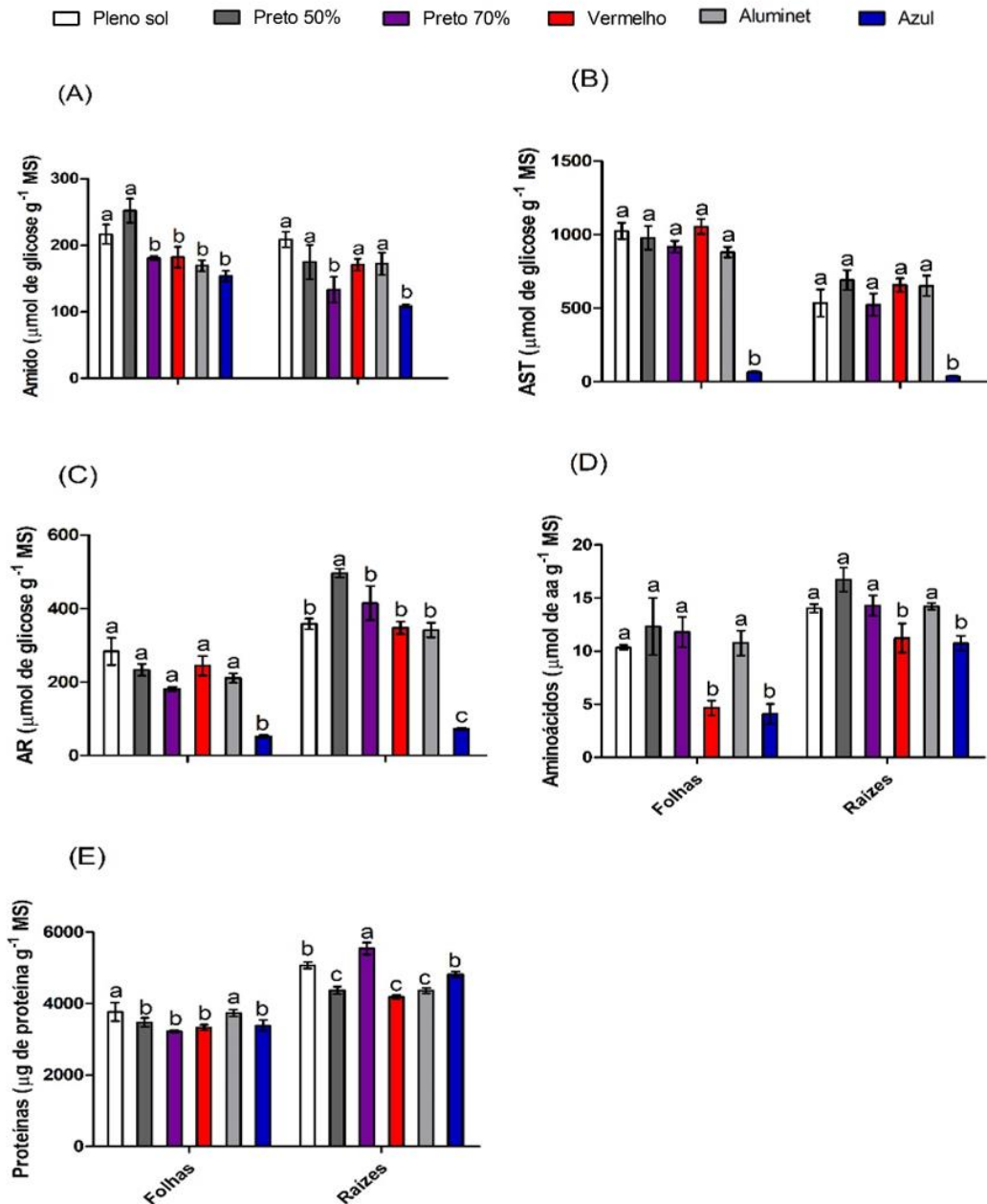
Os ambientes com malha vermelha e aluminet induziram ao maior acúmulo de biomassa seca em folhas, caule e raízes em relação aos demais tratamentos (Figura 7C). As plantas cultivadas nas estufas com malhas preta 50% e preta 70% tiveram maior biomassa de folhas e caule quando comparadas ao tratamento pleno sol. Em contrapartida, os ambientes pleno sol e preto 50% levaram ao maior acúmulo de biomassa seca de raízes em comparação ao tratamento preto 70%.



**Figura 7.** Comprimento apical (A), diâmetro do caule (B) e biomassa seca (C) em plantas de *Garcinia brasiliensis* cultivadas sob diferentes malhas de sombreamento: pleno sol, preto 50%, preto 70%, vermelho, aluminet e azul. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, em cada mês de avaliação, de acordo com o teste de Scott-Knott ( $p \leq 0.05$ ). As barras correspondem ao erro padrão da média ( $n=8$ ).

Fonte: Autor (2022)

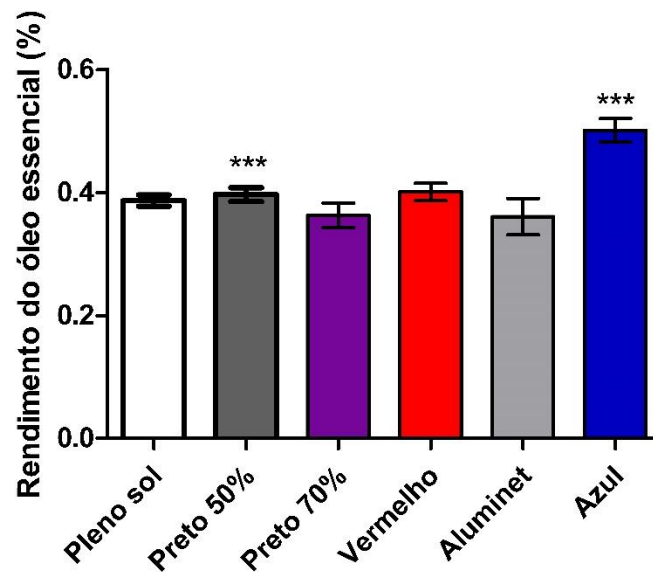
O cultivo nas estufas pleno sol e preto 50% levou à maior concentração de amido em folhas (Figura 8A). Paralelamente, pleno sol, preto 50%, vermelho e aluminet proporcionaram as maiores concentrações de amido em raízes. No que diz respeito à quantidade de açúcares solúveis totais e açúcares redutores, tanto em folhas como em raízes, a menor concentração foi encontrada em plantas cultivadas na estufa azul (Figura 8B e C). Além disso, plantas cultivadas na estufa preto 50% apresentaram maior teor de açúcares redutores em raízes. A concentração de aminoácidos em plantas cultivadas nas estufas vermelha e azul foi a menor em folhas e raízes (Figura 8D). Pleno sol e aluminet levaram à maior concentração de proteínas em folhas e preto 70% à maior concentração em raízes, seguido de pleno sol e azul (Figura 8E).



**Figura 8.** Concentração de amido (A), açúcares solúveis totais - AST (B), açúcares redutores - AR (C), aminoácidos (D) e proteínas (E) em plantas de *Garcinia brasiliensis* cultivadas sob diferentes malhas de sombreamento: pleno sol, preto 50%, preto 70%, vermelho, aluminet e azul. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Scott-Knott ( $p \leq 0.05$ ), em folhas e raízes. As barras correspondem ao erro padrão da média ( $n=5$ ).

Fonte: Autor (2022)

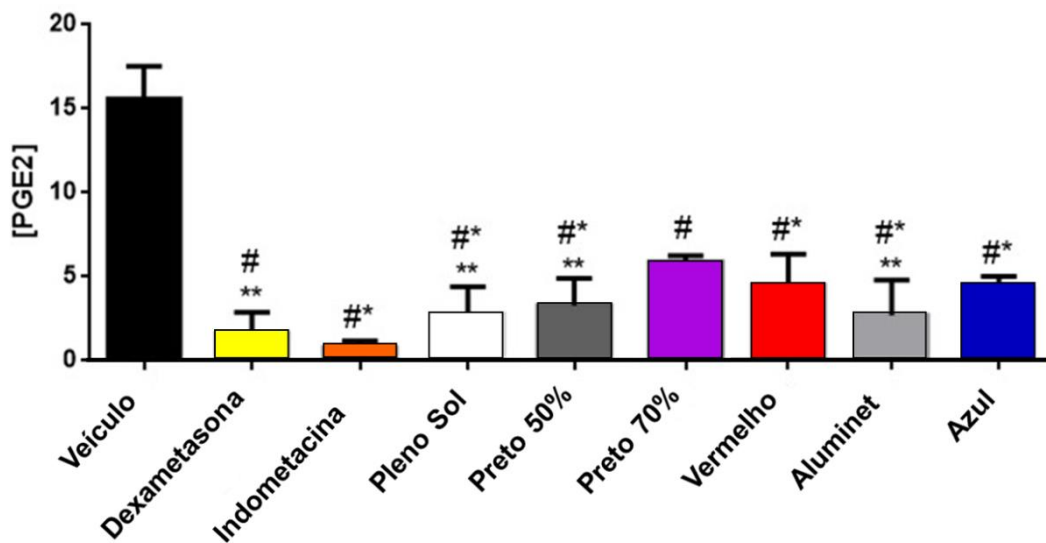
O maior rendimento de OE foi identificado em plantas sob a malha azul e não houve diferenças entre os demais tratamentos (Figura 9).



**Figura 9.** Rendimento do óleo essencial em plantas de *Garcinia brasiliensis* cultivadas sob diferentes malhas de sombreamento: pleno sol, preto 50% e preto 70%, vermelho, aluminet e azul. Médias seguidas por asterisco diferem do tratamento preto 50%, de acordo com o teste de Dunnett ( $p \leq 0.05$ ). As barras correspondem ao erro padrão da média ( $n=3$ ).

Fonte: Autor (2022)

Com relação à atividade biológica do OE, verificou-se que todos os tratamentos apresentaram atividade anti-inflamatória em relação ao veículo (controle negativo, sem nenhum tratamento). Pleno sol, preto 50% e aluminet resultaram em maior inibição de PGE2 e com semelhanças aos controles positivos (dexametasona e indometacina). Enquanto, vermelho e azul demonstraram inibição de PGE2, mas com atividade similar apenas à dexametasona. Já a ação inibitória do OE do tratamento de preto 70%, não evidenciou similaridade com os controles positivos (Figura 10 e Tabela 1).



# Diferente do veículo ( $p \leq 0,05$ )

\* Similar quando comparado à dexametasona ( $p \leq 0,05$ )

\*\* Similar quando comparado à indometacina ( $p \leq 0,05$ )

**Figura 10.** Formação de PGE2 (A) em células sanguíneas sem nenhum medicamento (veículo), com medicamento (dexametasona e indometacina – controles positivos) e com aplicação de óleo essencial de plantas de *Garcinia brasiliensis* cultivadas sob diferentes intensidades e qualidades de radiação: pleno sol, preto 50%, preto 70%, vermelho, aluminet e azul. Médias seguidas dos mesmos símbolos não diferem entre si de acordo com o teste de comparação múltipla de Dunnett. As barras correspondem ao erro padrão da média ( $n=4$ ).

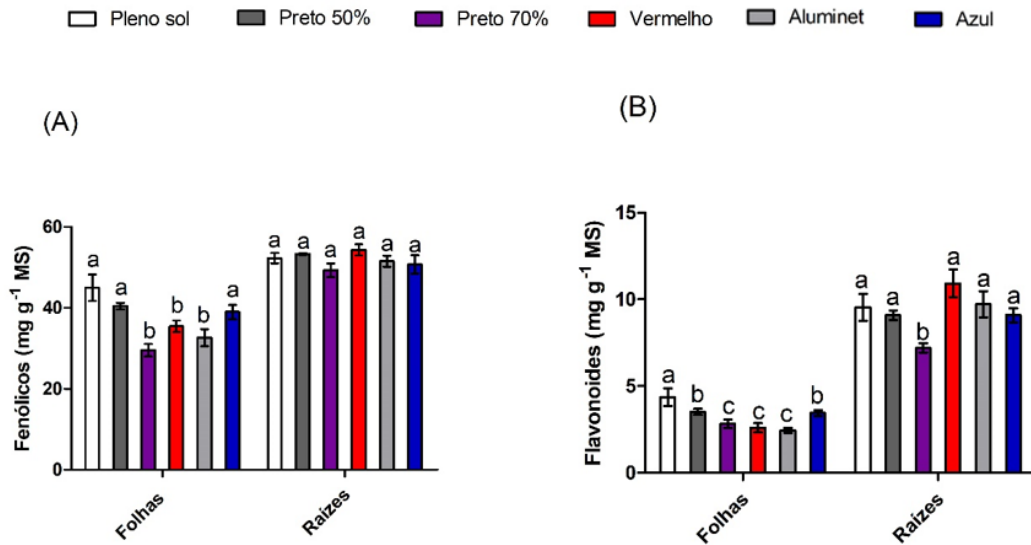
Fonte: Autor (2022)

Tabela 1 - Porcentagem de inibição de PGE2 em células do sangue humano

Veículo	Dexametasona	Indometacina	Pleno sol	Preto 50%	Preto 70%	Vermelho	Aluminet	Azul
-	89,5	94,7	82,1	79,0	62,2	71,2	82,7	72,5

Fonte: Autor (2022)

O conteúdo de fenólicos nas folhas foi maior à pleno sol, em preto 50% e azul (Figura 11A). Já em raízes, não houve diferença entre os tratamentos. A maior concentração de flavonoides em folhas foi observada à pleno sol, seguido de preto 50% e azul (Figura 11B). O menor teor de flavonoides em raízes ocorreu nas plantas cultivadas sob a malha preta 70%, enquanto não foi retratado diferenças nos demais ambientes.



**Figura 11.** Concentração de fenólicos (A) e flavonoides (B) em folhas e raízes em plantas de *Garcinia brasiliensis* cultivadas sob diferentes malhas de sombreamento: pleno sol, preto 50%, preto 70%, vermelho, aluminet e azul. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Scott-Knott ( $p \leq 0.05$ ). As barras correspondem ao erro padrão da média ( $n=5$ ).  
Fonte: Autor (2022)

## 4 DISCUSSÃO

As alterações na fotossíntese, fluorescência da clorofila e crescimento sugerem uma relação com os diferentes níveis de intensidade e qualidade da luz solar, que se manifestaram por meio de respostas morfofisiológicas clássicas nas mudas de *Garcinia brasiliensis*. Plantas sombreadas caracterizaram-se distintamente de plantas cultivadas sob excesso de luz baseado, por exemplo, em acréscimo no comprimento apical, teor relativo de clorofila e taxa de fotossíntese. A interferência na qualidade da radiação mediante o uso das malhas coloridas, possibilitou maior crescimento apical nas plantas sob a malha vermelha, maior teor relativo de clorofila sob a malha azul e maiores taxas de fotossíntese quando na estufa aluminet. Plantas cultivadas sob malha azul tiveram a menor concentração de açúcares e aminoácidos, enquanto plantas cultivadas sob maior intensidade de luz (pleno sol) tiveram a maior produção de fenólicos e flavonoides. A malha azul proporcionou maior rendimento de OE nas folhas, no tempo em que à pleno sol e nas malhas preto 50% e aluminet, a atividade anti-inflamatória do OE foi maior.

A menor taxa fotossintética e o menor teor de clorofila nas plantas cultivadas em pleno sol pode ser decorrente dos danos causados ao aparato fotossintético pelo excesso de radiação

solar (DAI *et al.*, 2009). A diminuição da fotossíntese em campo aberto pode ser atribuída às limitações de adaptação alinhadas a agentes de estresse de determinada espécie de planta, frente à alta incidência de luz (TORRES-OLIVAR *et al.*, 2016). Além disso, se a quantidade de fótons absorvida que é transportada para os centros de reação for superior à quantidade de energia que pode ser consumida, o aparato fotossintético pode sofrer danos e, subsequentemente, instala-se uma fotoinibição (LUCINSKI; JACKOWSKI, 2006; YORDANOV; VELEIKOVA, 2000). Como visto pelos dados de intensidade da radiação deste estudo, as plantas sob pleno sol foram cultivadas com a maior incidência de luz entre todos os tratamentos e nos meses com as maiores temperaturas (janeiro, março e setembro), com exceção de novembro, apresentaram baixa taxa fotossintética. Estes fatores ambientais podem ter contribuído para o excesso de fótons sobre o PSII, o aumento da temperatura foliar e possíveis mecanismos fotoinibitórios. A redução de  $F_v/F_m$  e a maior dissipação de energia não-fotoquímica ( $q_N$ ) também sugere uma baixa eficiência fotossintética e podem ser indicativos de danificação dos fotossistemas em *G. brasiliensis* exposta ao pleno sol. Contudo, não houveram valores muito baixos de  $R_{fd}$  e  $F_v/F_m$  que caracterizassem plantas não-saudáveis e uma fotoinibição intensa entre os diferentes ambientes avaliados, tendo como referência valores de  $R_{fd}$  e  $F_v/F_m$  em plantas saudáveis igual a 1,0-2,5 (RINDERLE; LICHTENTHALER, 1988; HAITZ; LICHTENTHALER, 1988) e 0,832 (BJORKMAN; DEMMIG, 1987), respectivamente. Valores de  $R_{fd}$  abaixo de 1,0 podem apontar que a fotossíntese foi bastante afetada (HAITZ; LICHTENTHALER, 1988).

Em um contexto de excesso de radiação solar, as plantas cultivadas à pleno sol apresentaram baixo teor de clorofila, folhas pequenas, coriáceas, mais espessas e amareladas (dados não mostrados) e baixa taxa fotossintética. Essas características podem ser relacionadas com uma possível adaptação de *Garcinia brasiliensis* para a sobrevivência em condições de extrema radiação, uma vez que a menor área foliar juntamente com o menor teor de clorofila podem reduzir os danos ao aparato fotossintético da planta, além de prevenir a perda excessiva de água (COSTA *et al.*, 2018). Por outro lado, uma possível justificativa para a presença de clorofila em quantidades superiores nas plantas cultivadas sob determinados níveis de sombra, como é o caso das plantas sob malhas preta 50% e preta 70%, é o desenvolvimento de uma resposta fisiológica alicerçada no aprimoramento da produção de pigmentos fotossintéticos para maior absorção de luz (DAI *et al.*, 2009; WITTMANN *et al.*, 2001), visando otimizar seu processo fotossintético, já que há limitação da radiação solar incidente.

Apesar da qualidade da radiação não apresentar um perfil homogêneo de influência sobre a fotossíntese, plantas cultivadas em preto 50% e aluminet apresentaram as maiores taxas de fotossíntese. No caso, a malha aluminet, devido às suas características termorreletores



(CASTELLANO *et al.*, 2008), possui papel fundamental na manutenção dos parâmetros de trocas gasosas em temperaturas críticas. O material dessa malha é relacionado com a manutenção homogênea de temperatura e umidade relativa dentro das estufas, favorecendo as trocas gasosas mesmo sob variações nos extremos de temperatura e mantendo o microclima constante (DÍAZ-PEREZ; St. JOHN, 2019; MEDINA *et al.*, 2002). A taxa fotossintética líquida de plantas sob aluminet foi superior às demais malhas nos meses de março, julho, setembro e novembro. Março, setembro e novembro situaram-se entre as maiores temperaturas e umidade relativa do ar, enquanto julho expôs as menores (analogamente, a radiação solar e os picos de comprimento de onda a cerca de 600 nm na estufa aluminet foram mais intensos e próximos aos meses de março, setembro e novembro e menos intensos e próximos ao mês de julho). Logo, menciona-se que a malha aluminet pode possuir uma notória importância na manutenção da alta fotossíntese de *Garcinia brasiliensis* em relação aos outros tratamentos, em especial, quando houver extremos de temperatura, radiação solar e umidade relativa do ar. Ou seja, mesmo em meses caracterizados por estações mais quentes (com alta temperatura e radiação) e em meses caracterizados por estações mais secas (com baixa umidade relativa do ar e radiação), aluminet é capaz de levar a uma significativa fotossíntese e eficiência dos fotossistemas (de acordo com  $F_v/F_m$  e QY).

A malha azul proporcionou maior estímulo à produção de clorofila nas plantas, enquanto na estufa vermelha observou-se o contrário. A luz azul estimula a produção de clorofilas e outros pigmentos pelas plantas (TAIZ *et al.*, 2017). Como verificado aqui, a estufa com malha azul levou ao aumento da relação azul/vermelho, o que configura maior presença de luz azul do que vermelha. O aumento da clorofila com a presença da luz azul pode estar associado a uma inibição do crescimento da planta e à biossíntese de clorofila pela maior concentração do ácido 5-aminolevulínico (precursor de tetrapirrol) (SOOD *et al.*, 2005). Por outro lado, a luz vermelha pode ser relacionada com a regulação negativa de expressão de proteínas e genes responsáveis pela produção de enzimas atreladas à síntese de clorofila (CLAVIJO-HERRERA *et al.*, 2018; SOOD *et al.*, 2005; TANAKA *et al.*, 1998).

O alto teor de clorofila e o maior rendimento fotoquímico (rendimento quântico máximo e efetivo) no decorrer dos meses apontam favorecimento para uma taxa fotossintética mais elevada nas plantas sombreadas até 50% de retenção luminosa, sobretudo em plantas cultivadas sob malha preta e aluminet. Contudo, plantas cultivadas sob a malha preta com 70% de sombreamento, exibiram características de adaptação aprimoradas no que diz respeito, primordialmente, à sua fisiologia (maior produção de clorofila para a absorção de luz) e alocação de recursos para o crescimento apical. Mesmo com alto qP ao longo do tempo, o baixo

rendimento fotoquímico em relação aos outros tratamentos pode ter contribuído para a baixa fotossíntese nas plantas cultivadas em pleno sol. Díaz-Pérez e St. John (2019) verificaram que os menores valores de fotossíntese e eficiência do PSII em *Capsicum annum* L. ocorreram nas plantas não sombreadas e em folhas com alta temperatura. Diante disso, sugere-se que a radiação excessiva pode ter elevado a temperatura foliar e, por consequência, causado algum tipo de estresse aos mecanismos fisiológicos de plantas cultivadas à pleno sol. Contudo, é essencial aprofundar os estudos para avaliar o comportamento de plantas sob pleno sol no que diz respeito ao *quenching* fotoquímico.

A maior fotossíntese em plantas sob malha preta com 70% de sombreamento, nos meses de julho e setembro, em relação a 50% pode ter colaborado com a manutenção do crescimento apical de plantas em excesso de sombreamento, além de sugerir uma suposta fotoinibição em plantas cultivadas em preto 50%, já que não houve diferenças nos parâmetros de comprimento apical entre os dois tratamentos a partir de julho. A síntese de clorofila entre preto 50% e preto 70% também não apresentou diferenças em julho, contudo, foi maior sob preto 70% nos meses de setembro e novembro. Ao longo do tempo, as plantas, ainda que sombreadas em preto 50%, parecem ter sido afetadas por processos inibitórios da fotossíntese e, por isso, encontrou-se uma redução da clorofila e no crescimento apical. Pode-se averiguar que até mesmo em julho, onde a intensidade da radiação, próxima a este mês, foi menor para todos os tratamentos, preto 50% sugeriu um possível decaimento da taxa de crescimento linear, em comparação a preto 70%, e demonstrou uma redução da eficiência fotossintética, como pode ser observado em  $F_v/F_m$  e  $A_N$ .

Sugere-se uma relação entre os mecanismos fotossintéticos das plantas cultivadas em preto 50%, vermelho e aluminet, e as alterações de crescimento apical e diâmetro caulinar, que pode ser comprovada pela alta concentração de açúcares (amido, AST, AR) e aumento na biomassa seca de folhas, caule e raízes. Resultados obtidos neste trabalho, comprovam que as malhas de sombreamento causam interferências na qualidade espectral e, eventualmente, geram modulações metabólicas que podem melhorar o crescimento (SABINO *et al.*, 2016). Tafoya *et al.* (2018) registraram que o acréscimo do peso seco das folhas e da área foliar foi resultado da inter-relação do maior PFD (densidade de fluxo de fótons fotossintéticos) e luz vermelha em malhas vermelhas. Os índices de luz azul e vermelha presentes em redes coloridas contribuíram para a fotossíntese e o ganho de biomassa, por exemplo, de frutos e órgãos vegetativos (TAFOYA *et al.*, 2018). *Butia capitata* apresentou maior crescimento e ganho de biomassa sob a malha vermelha, entretanto, não houve diferenças na fotossíntese entre os ambientes (COSTA *et al.*, 2018). A menor relação entre azul e vermelho (o que indica maior presença de luz

vermelha) verificada na estufa aluminet e, especialmente, sob a malha vermelha, pode ter auxiliado no acúmulo de biomassa seca em plantas desses ambientes.

O considerável tamanho de frutos de tomate, por exemplo, foi atribuído a maior área foliar e biomassa em baixa relação azul e vermelho (THWE *et al.*, 2020). O maior teor de glicose e frutose, além do consecutivo aumento de AST, também foi detectado em frutos gerados sob a redução da relação azul/vermelho, em malha vermelha, no tempo em que azul propiciou o menor acúmulo para os mesmos metabólitos primários e maior concentração de ácidos orgânicos (THWE *et al.*, 2020). Diante dos aspectos visuais, a maior área foliar em *G. brasiliensis* sob malha vermelha no presente estudo (dados não mostrados) pode ter um papel importante no aprimoramento do processo fotossintético diante da incidência e penetrabilidade dos fótons e, então, desencadear um aumento de açúcares e biomassa seca, essencialmente, quando comparada com a malha azul.

Além disso, a manutenção de elevadas taxas de fotossíntese ao longo dos meses nas plantas cultivadas sob a malha aluminet parece contribuir para a produção de metabólitos primários e a alocação destes recursos energéticos e estruturais para o crescimento geral de *G. brasiliensis*, comprovado pelo aumento da massa seca em todos os órgãos vegetativos. A alta concentração de aminoácidos e proteínas nas folhas das plantas cultivadas na estufa aluminet infere uma interdependência com o aumento fotossintético ao longo dos meses. A presença de micromoléculas, como os aminoácidos, e outros metabólitos primários (sacarose e amido) é resultado da biossíntese a partir das trioses fosfatos, produzidas pelo ciclo de Calvin-Benson no processo fotossintético (STITT *et al.*, 2010), o que pode explicar a relação entre o aumento da fotossíntese e o acréscimo de aminoácidos e proteínas foliares induzido pela malha aluminet.

O maior comprimento do caule em plantas sombreadas, como visto nas plantas cultivadas na estufa vermelha e sob as malhas preta 50% e 70%, revela um fenômeno fisiológico recorrente das espécies para aumentar a taxa de absorção da luz solar através da indução do crescimento apical do caule e ampliação da área foliar (FALSTER; WESTOBY, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2011; WILSON *et al.*, 1999). Yang *et al.* (2018) relataram que a baixa intensidade de luz e a relação vermelho/vermelho distante levaram a um acréscimo do comprimento do caule e que a redução de V/VD gerou um maior crescimento do pecíolo pelo decréscimo da relação de auxina (IAA)/giberelina (GA), sugerindo uma interação entre fitohormônios em resposta aos sinais de luz. Portanto, a menor razão entre a luz vermelha e vermelho distante observado nas estufas com a malha vermelha e preta com 50% e 70% de sombreamento pode estar envolvida com a relação de IAA/GA, refletindo na indução do crescimento apical do caule. Já o excesso de luz pode compreender um tipo de estresse que

implica em decréscimo de características morfológicas e fisiológicas das plantas (THAKUR; KUMAR, 2021). Dessa maneira, as plantas cultivadas em pleno sol aumentaram, consideravelmente, o diâmetro do caule por meio de sua compactação para aprimorar o transporte de água para as folhas.

O maior diâmetro do caule em plantas sob pleno sol pode ser relacionado com a maior espessura da parede, maior conteúdo de carboidratos estruturais e maior expressão de genes relacionados à biossíntese da parede celular em relação às plantas sombreadas (WU *et al.*, 2017), denotando uma relação desses fatores com o desenvolvimento e resistência do caule. As malhas vermelhas e aluminet também estimularam o aumento do diâmetro caulinar. As malhas vermelhas e aluminizadas são capazes de provocar a difusão da luz para a maior penetrabilidade nas plantas e, portanto, podem melhorar o processo fotossintético se comparado à incidência de luz direta, proporcionando maior crescimento das plantas (TAFOYA *et al.*, 2018).

A maior biomassa seca de raízes e a quantidade significativa de carboidratos (amido e AR) nas folhas e raízes das plantas cultivadas em pleno sol e sob a malha preta com 50% de sombreamento em comparação à malha preta 70%, permite hipotetizarmos uma possível alteração na alocação de metabólitos primários e um maior investimento em carboidratos para o desenvolvimento radicular das plantas dos ambientes mais expostos à luz, para a captação de água em níveis mais elevados, devido, supostamente, a uma determinada escassez e disponibilidade hídrica do solo. Visualmente, notou-se que as folhas de pleno sol possuíam uma área foliar inferior em comparação aos tratamentos de sombra (malhas pretas e coloridas) (Figura S3). Foi relatado que o uso de malha vermelha e a ausência de malhas (pleno sol) resultaram em maior e menor área foliar, respectivamente. Plantas cultivadas com baixa intensidade de luz aumentaram a área das folhas para a maior absorção de luz e, então, melhorar a eficiência da fotossíntese e a carboxilação (RIBEIRO *et al.*, 2018; TAIZ; ZEIGER, 2009). Ao mesmo tempo, as plantas sob pleno sol obtiveram, com base em aspectos visuais, folhas com maior espessura (coriáceas). O acréscimo na espessura das folhas pode ter um efeito protetor no aparato fotossintético contra o excesso de intensidade da radiação solar (RIBEIRO *et al.*, 2018).

A luz azul pode interferir no crescimento do caule de plântulas pela ação dos criptocromos (fotorreceptores da faixa do comprimento de onda do azul), inibindo o seu alongamento (FUKUDA *et al.*, 2016; FUKUDA, 2019; KONG; OKAJIMA, 2016; MAWPHLANG; KHARSHIING, 2017; SCHOFIELD; PALIYATH, 2005) e, então, gerando um menor crescimento apical da planta, como visto no presente estudo e corroborado pela alta relação de radiação na faixa do azul/vermelho na estufa azul. Em contraposição, os fitocromos

possuem grande influência no comprimento apical das plantas e absorvem, com relevante responsividade, a luz vermelha distante (FOLTA; CARVALHO, 2015). Diversos experimentos, como o de Yang *et al.* (2012) em plantas de abóbora e de Chia e Kubota (2010) em plantas de tomate, exemplificam o potencial da luz vermelha distante no alongamento de plantas. Além disso, outras abordagens comprovam que tais receptores desencadeiam modificações na expressão de genes, incluindo a variação nos perfis de giberelinas e outros hormônios (FOLTA; CARVALHO, 2015). Em *Euphorbia pulcherrima*, notou-se alta concentração de ácido giberélico na presença de luz vermelha distante e acréscimo na altura (ISLAM *et al.*, 2014), mostrando a forte relação de vermelho distante com as respostas fotomorfogênicas dos vegetais. A baixa relação azul/vermelho e a menor razão V/VD na estufa vermelha, aqui presenciadas, podem presumir a menor incidência de luz azul e a maior incidência de VD, respectivamente, sobre as plantas de *G. brasiliensis* cultivadas em malha vermelha e, naturalmente, favorecer um aumento no comprimento apical. Além disso, o aumento da incidência de vermelho estimulado pela luz vermelha pode ter atenuado a razão entre fitocromos inativos e ativos.

Os fitocromos respondem, basicamente, à absorção de luz em 600-700 nm (vermelho) e 700-750 nm (vermelho distante) e os criptocromos em 300-400 nm (UV-A) e 400-500 nm (azul) (KANG *et al.*, 2020; TRIPATHI *et al.*, 2019). Percebe-se pelos resultados de qualidade da luz solar deste estudo, que os picos da estufa vermelha ocorreram entre 500 e 600 nm e 600 e 680 nm e os picos da estufa azul em 480 nm. Portanto, as diferentes e clássicas respostas fotomorfogênicas de *G. brasiliensis* substancializam um grande vínculo entre o espectro de ação dos receptores de luz e os picos de comprimento de onda, aqui encontrados, nas estufas vermelha e azul.

A composição química do óleo essencial em manjeriço também foi afetada pela utilização de malhas coloridas, sendo que o sombreamento azul foi relacionado com um alto acúmulo de eugenol e as plantas não sombreadas um alto teor de linalol (MILENKOVIC *et al.*, 2019). Detectou-se, em outro estudo, distinção no rendimento e nos compostos constituintes do óleo essencial de folhas de *Garcinia brasiliensis* entre as quatro estações do ano, onde germacrenos, a título de exemplo, foram identificados em maior quantidade em novembro, mês de maior precipitação (VERONEZE-JR *et al.*, 2022). Ainda em referência aos experimentos de Veroneze-Jr *et al.* (2022), verifica-se que o rendimento do óleo essencial com mudas de *G. brasiliensis* se difere do rendimento com a mesma espécie na fase adulta. Nos resultados aqui apresentados, o rendimento ficou próximo, de uma forma geral, a 0,4%, enquanto a planta adulta estabeleceu-se acima de 0,6%. Sendo assim, o estágio de desenvolvimento da planta

pode, associadamente a outros fatores, influenciar o teor de óleo essencial nas folhas de *G. brasiliensis*. As análises futuras acerca da composição do OE fornecerão maiores informações sobre as possíveis variações da qualidade dos OE de *G. brasiliensis* em resposta ao cultivo em malhas coloridas.

A maior concentração de açúcares, principalmente de amido em folhas e raízes, e o alto conteúdo de fenólicos e flavonoides foliares das plantas expostas à alta radiação (pleno sol e preto 50%) preconizam uma provável estratégia de crescimento radicular e defesa contra estresses abióticos (por exemplo, o excesso de luz), respectivamente. O aumento da intensidade da radiação à pleno sol e na malha preta com 50% de sombreamento, nos meses de janeiro, junho e agosto em comparação à malha preta com 70%, pode ser capaz de provocar danos ao aparato fotossintético. Assim, a presença de metabólitos secundários e os seus precursores, como os fenólicos e flavonoides, pode assumir um papel fundamental na proteção dos fotossistemas. Os flavonoides atuam contra a radiação UV filtrando e absorvendo os raios UV-B, além de eliminar espécies reativas de oxigênio (ERO's) (CHEN *et al.*, 2015; SHAH & SMITH, 2020). Essa possível proteção é corroborada pela menor produção de fenólicos e flavonoides foliares e flavonoides radiculares em plantas cultivadas com 70% de sombreamento, evidenciada neste estudo.

O declínio da incidência de luz sobre *Camellia sinensis* L. também levou a uma redução de glicosídeos de flavonoides totais juntamente à expressão gênica negativa de PAL, CHS, F3H, F3'H - enzimas constituintes da via biossintética de flavonoides. Já o tratamento com luz plena causou um aumento da síntese para os mesmos compostos secundários (YE *et al.*, 2021). PAL, CHS e F3H foram relacionadas, através dos níveis de expressão e acúmulo de flavonoides, aos raios UV-A, UV-B e à luz azul pela ação de diferentes receptores de luz (JENKINS, 1998; KADOMURA-ISHIKAWA *et al.*, 2013; ZORATTI *et al.*, 2014). Desse modo, pode-se sugerir que a concentração substancial de fenólicos e flavonoides em *G. brasiliensis* sob pleno sol e na malha preta com 50% de sombreamento pode estar associada aos receptores de luz e suas respostas desencadeadas pela expressão de genes e produção de enzimas da via biossintética de flavonoides.

A atividade anti-inflamatória em sangue humano dos OEs das plantas de *G. brasiliensis* sob todas as malhas demonstrou resultados promissores, com valores semelhantes a medicamentos já descritos na literatura. Martins *et al.* (2008) comprovaram ação anti-inflamatória do óleo essencial extraído de frutos de *G. brasiliensis* em edema de pata de rato. Vários constituintes do óleo essencial de *G. brasiliensis* identificados, incluindo compostos descritos por Veroneze-Jr *et al.* (2022), como  $\alpha$ -copaeno e  $\alpha$ -cadinol, foram relacionados à

atividade anti-inflamatória e antioxidante (ESPIRITO SANTO *et al.*, 2020). Outros extratos de *Garcinia pedunculata* e *Garcinia gardneriana* apresentaram efeitos antioxidante, anti-inflamatório e hepatoprotetor em ensaios diversos (CASTARDO *et al.*, 2008; MUDOI *et al.*, 2012; MUNDUGARU *et al.*, 2014; MUNDUGARU *et al.*, 2014).

A atividade do óleo essencial de manjeriço contra microrganismos mostrou-se dependente de alguns fatores, entre eles, o tipo de sombreamento (ILIC *et al.*, 2021). Diante disso, constata-se uma suposta associação entre a intensidade da radiação e a inibição de PGE2 pelos óleos essenciais, já que as maiores incidências de luz (pleno sol e preto 50%) levaram ao aumento da ação anti-inflamatória. Ao mesmo tempo, a maior atividade anti-inflamatória do OE de aluminet parece estar ligada à qualidade da malha. Isto aponta que a intensidade e qualidade da luz podem auxiliar no espectro de atuação dos óleos essenciais de folhas de *G. brasiliensis*.

Relacionando a biomassa foliar das plantas cultivadas em aluminet com a respectiva atividade anti-inflamatória do OE, observa-se que o seu rendimento em referência à atividade biológica é superior aos demais tratamentos que apresentaram ação anti-inflamatória semelhante (pleno sol e preto 50%), mas não levaram ao mesmo acúmulo de biomassa foliar. Isto é, plantas em pleno sol e preto 50% levaram a uma alta inibição de PGE2, entretanto, não possuem alto rendimento para compostos de interesse farmacológico quando comparadas às plantas em aluminet (de acordo com a biomassa de folhas). Portanto, o cultivo sob aluminet pode subsidiar uma maior produção de OE com propriedade terapêutica e evitar o uso indiscriminado de *G. brasiliensis* para a mesma finalidade em condições naturais, preservando uma espécie amazônica.

Desse modo, é possível observar que a intensidade e qualidade espectral da luz solar interferiu no crescimento, desenvolvimento e nas características fisiológicas de *Garcinia brasiliensis* (durante os seis meses de coleta) e na inibição de PGE2 como resposta anti-inflamatória em sangue humano.

## 5 CONCLUSÃO

As respostas fisiológicas, o crescimento e o metabolismo de *Garcinia brasiliensis* são afetados pelos ambientes com variação de intensidade e qualidade da radiação solar. O aumento da incidência de luz em pleno sol e, até mesmo em preto 50%, sugere o aparecimento de mecanismos fotoinibitórios que influenciam no crescimento apical e na alocação de biomassa

da parte aérea das plantas. Já a grande presença de fenólicos e flavonoides em pleno sol estabelece uma suposta defesa contra o excesso de radiação. Por outro lado, o sombreamento parece estar relacionado com a maior eficiência fotossintética e indução do crescimento apical ao longo dos meses. Ao mesmo tempo que as plantas cultivadas sob malha vermelha destinam os seus recursos metabólicos e energéticos para o crescimento vegetativo (principalmente, apical), as plantas sob malha azul parecem alocar os seus metabólitos primários para a biossíntese de metabólitos secundários, como o óleo essencial, fenólicos e flavonoides. A malha aluminet permite maior eficiência fotossintética e está relacionada com alta atividade anti-inflamatória do óleo essencial foliar. O OE de tratamentos com maiores intensidades de luz, como pleno sol e preto 50%, também apresenta maior atividade anti-inflamatória. Portanto, a intensidade e qualidade de radiação influenciou na atividade biológica do OE das folhas de *G. brasiliensis* e o uso de malhas fotoconversoras para a manipulação da luz pode significar uma alternativa promissora no desenvolvimento de *Garcinia brasiliensis* de acordo com o interesse farmacológico de uso da planta.

É possível notar que em *G. brasiliensis*, o cultivo na malha azul, que acarreta em maior rendimento do OE, não eleva a atividade anti-inflamatória. Buscando o cultivo de mudas de *G. brasiliensis* em escala comercial para a produção de óleo essencial com atividade anti-inflamatória, o uso da malha aluminet é o mais recomendado.

## REFERÊNCIAS

- AINSWORTH, E. A.; GILLESPIE, K. M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. **Nature Protocols**, v. 2, n. 4, p. 875-877, 2007.
- BARBOSA, S. M. *et al.* Effects of light intensity on the anatomical structure, secretory structures, histochemistry and essential oil composition of *Aeollanthus suaveolens* Mart. ex Spreng. (Lamiaceae). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 95, p. 104224, 2021.
- CASAL, J. J. Phytochromes, Cryptochromes, Phototropin: Photoreceptor Interactions in Plants. **Photochemistry and Photobiology**, v. 71, n. 1, p. 1, 2000.
- CASTARDO, J. C. *et al.* Anti-inflammatory effects of hydroalcoholic extract and two biflavonoids from *Garcinia gardneriana* leaves in mouse paw oedema. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 118, n. 3, p. 405-411, 2008.
- CASTELLANO, S. *et al.* Plastic nets in agriculture: a general review of types and applications. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 24, n. 6, p. 799-808, 2008.
- CHEN, H. *et al.* Effects of allyl isothiocyanate treatment on postharvest quality and the activities of antioxidant enzymes of mulberry fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.



108, p. 61-67, 2015.

CHIA, P. L.; KUBOTA, C. End-of-day far-red light quality and dose requirements for tomato rootstock hypocotyl elongation. **HortScience**, v. 45, n. 10, p. 1501-1506, 2010.

CLAVIJO-HERRERA, J. *et al.* Growth, water-use efficiency, stomatal conductance, and nitrogen uptake of two lettuce cultivars grown under different percentages of blue and red light. **Horticulturae**, v. 4, n. 3, p. 16, 2018.

COLES, Z. S. *et al.* The influence of photoselective shade netting on vegetative growth and bioactivity of *Myrsine africana* L. for cosmeceutical production. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 24, p. 100324, 2021.

CORRÊA, R. M. *et al.* Crescimento de plantas, teor e qualidade de óleo essencial de folhas de orégano sob malhas coloridas. **Global Science and Technology**, v. 5, n. 1, p. 11–22, 2012.

COSTA, B. N. S. *et al.* Anatomical modifications of *Butia capitata* propagated under colored shade nets. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 4, p. 3615-3624, 2018.

COSTA, I. J. S. *et al.* Growth and physiology of jelly palm (*Butia capitata*) grown under colored shade nets. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 40, n. 1, p. 1–8, 2018.

DAI, Y. *et al.* Effects of shade treatments on the photosynthetic capacity, chlorophyll fluorescence, and chlorophyll content of *Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg. **Environmental and Experimental Botany**, v. 65, n. 2–3, p. 177–182, 2009.

DE MELO, A. M. *et al.* *Garcinia brasiliensis* fruits and its by-products: Antioxidant activity, health effects and future food industry trends – A bibliometric review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 112, p. 325–335, 2021.

DEMMIG, B.; BJÖRKMAN, O. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77K) and photon yield of O<sub>2</sub> evolution in leaves of higher plants. **Planta**, v. 171, p. 171-184, 1987.

DÍAZ-PÉREZ, J. C.; St. JOHN, K. Bell Pepper (*Capsicum annum* L.) under Colored Shade Nets: Plant Growth and Physiological Responses. **HortScience**, v. 54, n. 10, p. 1795–1801, 2019.

ESPIRITO SANTO, B. L. S. *et al.* Medicinal Potential of *Garcinia* Species and Their Compounds. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 25, n. 19, p. 1–30, 2020.

FALSTER, D. S.; WESTOBY, M. Plant height and evolutionary games. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 18, n. 7, p. 337–343, 2003.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs: Sisvar. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FIGUEIREDO, S. A. *et al.* In vitro and in vivo photoprotective/photochemopreventive potential of *Garcinia brasiliensis* epicarp extract. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 131, p. 65–73, 2014.

FOLTA, K. M.; CARVALHO, S. D. Photoreceptors and control of horticultural plant traits. **HortScience**, v. 50, n. 9, p. 1274–1280, 2015.

FUKUDA, N. *et al.* Antagonistic action of blue and red light on shoot elongation in petunia depends on gibberellin, but the effects on flowering are not generally linked to gibberellin. **Environmental and Experimental Botany**, v. 121, p. 102-111, 2016.

FUKUDA, N. Plant growth and physiological responses to light conditions. **Plant factory using artificial light**, p. 71-77, 2019.

GAUTIER, H. *et al.* Effect of photoselective filters on the physical and chemical traits of vine-ripened tomato fruits. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 85, n. 2, p. 439-446, 2005.

GONTIJO, V. S. *et al.* Leishmanicidal, antiproteolytic and antioxidant evaluation of natural biflavonoids isolated from *Garcinia brasiliensis* and their semisynthetic derivatives. **European Journal of Medicinal Chemistry**, v. 58, p. 613–623, 2012.

HAITZ, M.; LICHTENTHALER, H. K. **Applications of chlorophyll fluorescence**. Lichtenthaler, H. K. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 249, 1988.

HE, B. *et al.* The effect of colored plastic films on the photosynthetic characteristics and content of active ingredients of *Dyosma versipellis*. **Horticulture Environment and Biotechnology**, v. 59, n. 4, p. 519–528, 2018.

ILIĆ, Z. S. *et al.* Efficiency of basil essential oil antimicrobial agents under different shading treatments and harvest times. **Agronomy**, v. 11, n. 8, p. 1574, 2021.

ISLAM, M. A. *et al.* Impact of end-of-day red and far-red light on plant morphology and hormone physiology of poinsettia. **Scientia Horticulturae**, v. 174, n. 1, p. 77–86, 2014.

JENKINS, G. I. UV and blue light signal transduction in the regulation of flavonoid biosynthesis gene expression in *Arabidopsis*. **Cellular integration of signalling pathways in plant development**, p. 71-82, 1998.

JIA, C. *et al.* Chiral resolution and anticancer effect of xanthenes from *Garcinia paucinervis*. **Fitoterapia**, v. 127, p. 220–225, 2018.

KADOMURA-ISHIKAWA, Y. *et al.* Phototropin 2 is involved in blue light-induced anthocyanin accumulation in *Fragaria x ananassa* fruits. **Journal of plant research**, v. 126, n. 6, p. 847-857, 2013.

KANG, W. H. *et al.* Quantification of spectral perception of plants with light absorption of photoreceptors. **Plants**, v. 9, n. 5, p. 556, 2020.

KHAPARE, L. S. *et al.* *Garcinia* a medicinally potential genus in Western Ghats. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 9, n. 5, p. 2750-2752, 2020.

KONG, S-G; OKAJIMA, K. Diverse photoreceptors and light responses in plants. **Journal of plant research**, v. 129, n. 2, p. 111-114, 2016.

- LAZZARINI, L. E. S. *et al.* Quality and intensity of light affect *Lippia gracilis* Schauer plant growth and volatile compounds in vitro. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 135, n. 3, p. 367–379, 2018.
- LIMA, M. C. *et al.* Plants of *Achillea millefolium* L. grown under colored shading nets have altered secondary metabolism. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 17, n. 2, p. 104–111, 2019.
- LUCIŃSKI, R.; JACKOWSKI, G. The structure, functions and degradation of pigment-binding proteins of photosystem II. **Acta biochimica polonica**, v. 53, n. 4, p. 693-708, 2006.
- MARTINS, F. T. *et al.* Composition, and anti-inflammatory and antioxidant activities of the volatile oil from the fruit peel of *Garcinia brasiliensis*. **Chemistry and Biodiversity**, v. 5, n. 2, p. 251–258, 2008.
- MAWPHLANG, O. IL; KHARSHIING, E. V. Photoreceptor mediated plant growth responses: implications for photoreceptor engineering toward improved performance in crops. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 1181, 2017.
- MEDINA, C. L. *et al.* Photosynthetic response of citrus grown under reflective aluminized polypropylene shading nets. **Scientia Horticulturae**, v. 96, n. 1–4, p. 115–125, 2002.
- MILLER, G. L. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426–428, 1959.
- MILENKOVIĆ, L. *et al.* New technology in basil production with high essential oil yield and quality. **Industrial Crops and Products**, v. 140, p. 111718, 2019.
- MILENKOVIĆ, L. *et al.* Modification of light intensity influence essential oils content, composition and antioxidant activity of thyme, marjoram and oregano. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 11, p. 6532–6543, 2021.
- MOHD YUSOF, F. F. *et al.* Shading effects on leaf gas exchange, leaf pigments and secondary metabolites of *Polygonum minus* huds., an aromatic medicinal herb. **Plants**, v. 10, n. 3, p. 608, 2021.
- MOREIRA, M. E. C. *et al.* Bacupari peel extracts (*Garcinia brasiliensis*) reduces the biometry, lipogenesis and hepatic steatosis in obese rats. **Food Research International**, v. 114, p. 169–177, 2018.
- MUDOI, T. *et al.* In vitro antioxidant activity of *Garcinia pedunculata*, an indigenous fruit. **In vitro**, v. 4, n. 1, p. 334-342, 2012.
- MUNDUGARU, R. *et al.* Hepatoprotective activity of fruit extract of *Garcinia pedunculata*. **Bangladesh Journal of Pharmacology**, v. 9, n. 4, p. 483-87, 2014.
- MUNDUGARU, R. *et al.* Anti inflammatory activity of aqueous extract of fruits of *Garcinia pedunculata* in experimental animals. **Am J Pharma Tech Res**, v. 4, n. 3, p. 3-6, 2014.
- NALDONI, F. J. *et al.* Antimicrobial activity of benzophenones and extracts from the fruits of

Garcinia brasiliensis. **Journal of Medicinal Food**, v. 12, n. 2, p. 403–407, 2009.

NAVES, V. M. L. *et al.* Antimicrobial and antioxidant activity of *Garcinia brasiliensis* extracts. **South African Journal of Botany**, v. 124, p. 244–250, 2019.

OBOLSKIY, D. *et al.* *Garcinia mangostana* L.: a phytochemical and pharmacological review. **Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives**, v. 23, n. 8, p. 1047–1065, 2009.

OLIVEIRA, F. L. *et al.* Crescimento e acumulação de nutrientes em plantas de taro sob níveis de sombreamento artificial. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 291–298, 2011.

OXBOROUGH, K.; BAKER, N. R. Resolving chlorophyll a fluorescence images of photosynthetic efficiency into photochemical and non-photochemical components - Calculation of  $qP$  and  $F_v'/F_m'$  without measuring  $F_o'$ . **Photosynthesis Research**, v. 54, n. 2, p. 135–142, 1997.

PAILEE, P. *et al.* Anti-HIV and cytotoxic biphenyls, benzophenones and xanthenes from stems, leaves and twigs of *Garcinia speciosa*. **Phytochemistry**, v. 147, p. 68–79, 2018.

PEREIRA, I. O. *et al.* Leishmanicidal activity of benzophenones and extracts from *Garcinia brasiliensis* Mart. fruits. **Phytomedicine**, v. 17, n. 5, p. 339–345, 2010.

RABÊLO, V. M. *et al.* The foliar application of a mixture of semisynthetic chitosan derivatives induces tolerance to water deficit in maize, improving the antioxidant system and increasing photosynthesis and grain yield. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–13, 2019.

RIBEIRO, A. S. *et al.* Colored shade nets induced changes in growth, anatomy and essential oil of *Pogostemon cablin*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1823–1835, 2018.

RINDERLE, U.; LICHTENTHALER, K. K. **Applications of chlorophyll fluorescence**. Lichtenthaler, H. K. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 189, 1988.

ROSA, W. *et al.* In vivo anti-inflammatory activity of Fabaceae species extracts screened by a new ex vivo assay using human whole blood. **Phytochemical Analysis**, v. 32, n. 5, p. 859–883, 2021.

SABINO, M. *et al.* Crescimento de mudas de ipês em diferentes telas de sombreamento. **Nativa**, v. 4, n. 2, p. 61–65, 2016.

SCHOFIELD, A.; PALIYATH, G. Modulation of carotenoid biosynthesis during tomato fruit ripening through phytochrome regulation of phytoene synthase activity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 43, n. 12, p. 1052–1060, 2005.

SHAH, A.; SMITH, D. L. Flavonoids in agriculture: Chemistry and roles in, biotic and abiotic stress responses, and microbial associations. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p. 1209, 2020.

SMITH, H. Phytochromes and light signal perception by plants - An emerging synthesis.

**Nature**, v. 407, n. 6804, p. 585–591, 2000.

SOOD, S. *et al.* Photoregulation of the greening process of wheat seedlings grown in red light. **Plant Molecular Biology**, v. 59, n. 2, p. 269–287, 2005.

STITT, M. *et al.* Arabidopsis and primary photosynthetic metabolism—more than the icing on the cake. **The Plant Journal**, v. 61, n. 6, p. 1067–1091, 2010.

TAFUYA, F. A. *et al.* Sunlight transmitted by colored shade nets on photosynthesis and yield of cucumber. **Ciência Rural**, v. 48, n. 9, p. 1–9, 2018.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 858 p., 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4<sup>a</sup> ed., Porto Alegre: Artmed, 90 p., 2009.

TANAKA, A. *et al.* Chlorophyll a oxygenase (CAO) is involved in chlorophyll b formation from chlorophyll a. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 95, n. 21, p. 12719–12723, 1998.

THAKUR, M.; KUMAR, R. Microclimatic buffering on medicinal and aromatic plants: A review. **Industrial Crops and Products**, v. 160, n. 6, p. 113144, 2021.

THAKUR, M. *et al.* Improving production of plant secondary metabolites through biotic and abiotic elicitation. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 12, p. 1–12, 2019.

THOMA, F. *et al.* Effects of Light on Secondary Metabolites in Selected Leafy Greens: A Review. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1–15, 2020.

THWE, A. A. *et al.* Impact of red and blue nets on physiological and morphological traits, fruit yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.). **Scientia Horticulturae**, v. 264, p. 109185, 2020.

TORRES-OLIVAR, V. *et al.* Effect of colored plastic mulch on growth, yield and nutrient status in cucumber under shade house and open field conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, n. 14, p. 2144–2152, 2016.

TRIPATHI, S. *et al.* Regulation of photomorphogenic development by plant phytochromes. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 24, p. 6165, 2019.

TSORMPATSIDIS, E. *et al.* UV irradiance as a major influence on growth, development and secondary products of commercial importance in Lollo Rosso lettuce “Revolution” grown under polyethylene films. **Environmental and Experimental Botany**, v. 63, n. 1–3, p. 232–239, 2008.

VERONEZE-JR, V. *et al.* Seasonal changes of physiological and biochemical characteristics of *Garcinia brasiliensis* leaves. **South African Journal of Botany**, v. 147, p. 349–358, 2022.

WILSON, P. J. *et al.* Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of

plant strategies. **New Phytologist**, v. 143, n. 1, p. 155–162, 1999.

WITTMANN, C. *et al.* Leaf and twig photosynthesis of young beech (*Fagus sylvatica*) and aspen (*Populus tremula*) trees grown under different light regime. **Basic and Applied Ecology**, v. 2, n. 2, p. 145–154, 2001.

WU, L. *et al.* Shading contributes to the reduction of stem mechanical strength by decreasing cell wall synthesis in japonica rice (*Oryza sativa* L.). **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 881, 2017.

YANG, F. *et al.* Auxin-to-gibberellin ratio as a signal for light intensity and quality in regulating soybean growth and matter partitioning. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 56, 2018.

YANG, Z. C. *et al.* Effect of end-of-day far-red light from a movable LED fixture on squash rootstock hypocotyl elongation. **Scientia Horticulturae**, v. 136, p. 81-86, 2012.

YE, J-H. *et al.* Effects of Light Intensity and Spectral Composition on the Transcriptome Profiles of Leaves in Shade Grown Tea Plants (*Camellia sinensis* L.) and Regulatory Network of Flavonoid Biosynthesis. **Molecules**, v. 26, n. 19, p. 5836, 2021.

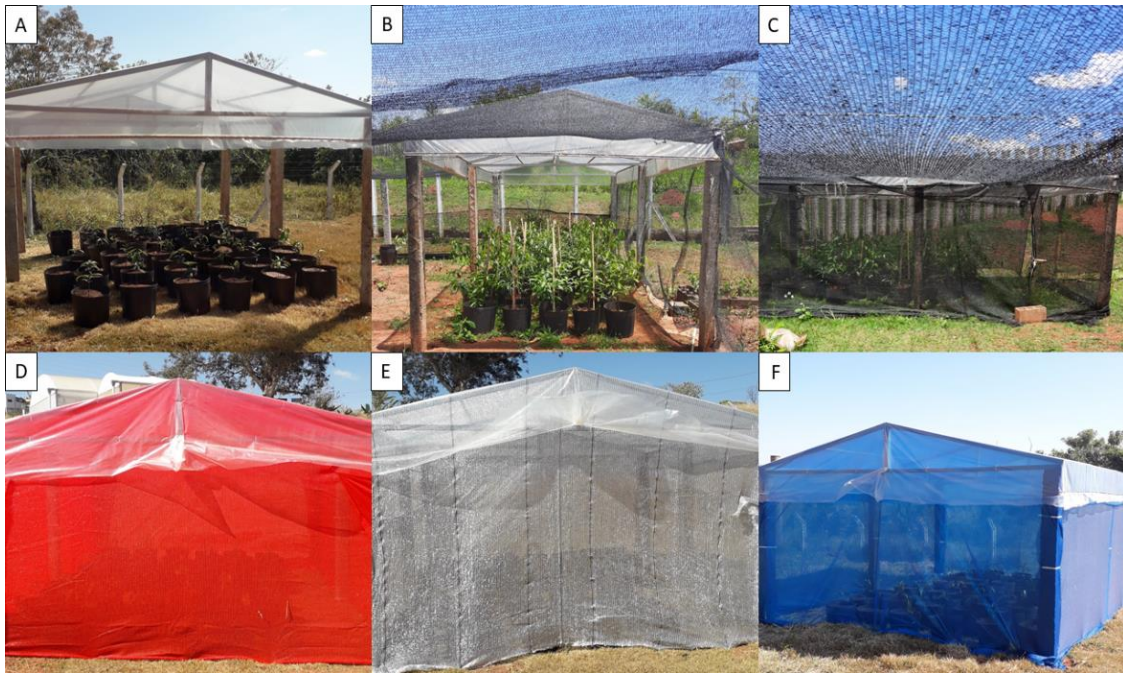
YEMM, E. W. *et al.* The determination of amino-acids with ninhydrin. **The Analyst**, v. 80, n. 948, p. 209-214, 1955.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The Estimation of Carbohydrates in Plant Extracts by Anthrone. **Biochemical journal**, v. 57, n. 3, p. 508-514, 1954.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V. Photoinhibition of photosystem I. **Bulg. J. Plant Physiol**, v. 26, n. 1-2, p. 70-92, 2000.

ZORATTI, L. *et al.* Light-controlled flavonoid biosynthesis in fruits. **Frontiers in plant science**, v. 5, p. 534, 2014.

## MATERIAL SUPPLEMENTAR



**Figura S1:** Mini-estufas dispostas em pleno sol (A), preto 50% (B), preto 70% (C), vermelha (D), aluminet (E) e azul (F) no Horto da Unidade Santa Clara, Unifal-MG.

Fonte: Autor (2022)



**Figura S2:** Vasos de cultivo de *Garcinia brasiliensis* dispostos no interior das estufas, no Horto da Unidade Santa Clara, Unifal-MG.

Fonte: Autor (2022)





**Figura S3:** Fotocomparação entre plantas em pleno sol (A), preto 50% (B), preto 70% (C), vermelho (D), aluminet (E) e azul (F) no Horto da Unidade Santa Clara, Unifal-MG.  
Fonte: Autor (2022)