

ELDER FELIPE SILVA RONCHETI

**EFEITO DA RADIAÇÃO SOLAR E DA SUPLEMENTAÇÃO DE LUZ LED NA
BIOSSÍNTESE DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM FLORES DE
CAPUCHINHA (*Tropaeolum majus* L.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

R769e
2018 Roncheti, Elder Felipe Silva, 1985-
Efeito da radiação solar e da suplementação de luz led na
biossíntese de compostos bioativos em flores de capuchinha (*Tropaeolum majus* L.) / Elder Felipe Silva Roncheti. – Viçosa,
MG, 2018.
ix, 81 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Paulo César Stringheta.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Alimentos - Análise. 2. Plantas comestíveis. 3. Diodos
emissores de luz. 4. Fenóis. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Tecnologia de Alimentos. Programa de
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.
II. Título.

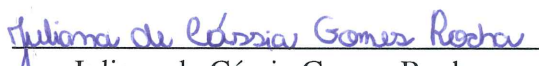
CDD 22. ed. 664.07

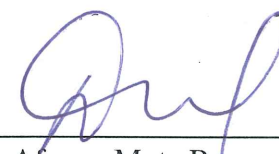
ELDER FELIPE SILVA RONCHETTI

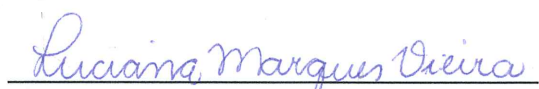
**EFEITO DA RADIAÇÃO SOLAR E DA SUPLEMENTAÇÃO DE LUZ LED NA
BIOSSÍNTESE DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM FLORES DE
CAPUCHINHA (*Tropaeolum majus* L.)**

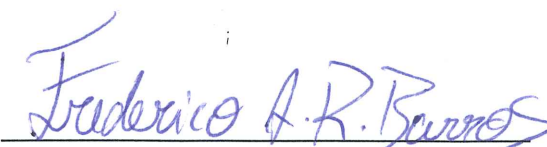
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

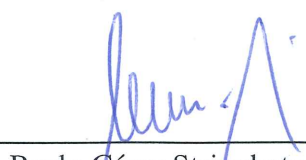
APROVADA: 18 de outubro de 2018.


Juliana de Cássia Gomes Rocha


Afonso Mota Ramos


Luciana Marques Vieira


Frederico Augusto Ribeiro de Barros


Paulo César Stringheta
(Orientador)

À minha família, especialmente à minha esposa e filha que ainda vai nascer, Vânia Roncheti e Maria Eduarda Roncheti. Aos meus pais, Carlos Roncheti e Eliana Roncheti; aos meus irmãos: Erika, Elaine, Estevão e Emanuel; e aos meus avós Eliezer e Sebastiana. Dedico e ofereço.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por permanecer comigo e abençoar em todos os instantes da minha vida.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia em Alimentos pela oportunidade de realizar este curso. A CAPES pela bolsa.

Agradeço ao meu orientador Prof. Paulo César Stringheta não apenas por suas orientações e conselhos, mais também, pela boa convivência e pelo vínculo de respeito e consideração que se criou entre nós no decorrer deste curso.

A orientação, conselhos e ajuda na execução experimental da Prof^a Ângela Cristina Oliveira Stringheta. Além disso, levo a mais elevada estima pela pessoa e profissional.

Aos colegas de pós-graduação e laboratório, pelo convívio e amizade, em especial a Jeferson, Luciano, André, Juliana, Kellen, Eliana, Rita, Mariana, Mariane, Barbara, Amanda e Thais pela convivência e amizade que levo para vida.

A ajuda indispensável para a realização deste trabalho, Ernesto, Emanuel, Valério, e a todos de contribuíram de forma direta ou indireta.

Minha Gratidão.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO GERAL	1
ARTIGO 1.....	5
EFEITO DA RADIAÇÃO SOLAR NA BIOSÍNTESE DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM FLORES DE CAPUCHINHA (<i>Tropaeolum majus</i> L.).....	5
INTRODUÇÃO	6
MATERIAIS E MÉTODOS	7
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS.....	27
ARTIGO 2.....	30
EFEITO DA IRRADIAÇÃO DE LUZ LED NA BIOSÍNTESE DE COMPOSTOS FENÓLICOS E CAROTENOIDES EM FLORES DE CAPUCHINHA (<i>Tropaeolum majus</i>).	30
RESUMO	30
1. INTRODUÇÃO	31
2. MATERIAIS E MÉTODOS	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4. CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIA.....	44
ARTIGO 3.....	47
INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CULTIVO DE CAPUCHINHAS (<i>Tropaeolum majus</i> L.) SUPLEMENTADAS COM IRRADIAÇÃO DE LUZ LED NO TEOR DE COMPOSTOS FENOLICOS, CAROTENOIDES E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE.....	47
1. INTRODUÇÃO	48
2.MATERIAIS E MÉTODOS	49
3. RESULTADO E DISCUSSÃO	53
CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIA.....	62
ARTIGO 4.....	65
MODELAGEM MATEMÁTICA E EFEITO DO TEMPO E TEMPERATURA DA SECAGEM NA EXTRAÇÃO DE ANTOCIANINAS E FENÓLICOS EM FLORES DE CAPUCHINHAS ALARANJADAS (<i>Tropaeolum majus</i> L.).....	65

1. INTRODUÇÃO	66
2. MATERIAL E MÉTODOS	67
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
4. CONCLUSÕES	78
5. REFERÊNCIAS.....	78
CONCLUSÃO GERAL.....	81

RESUMO

RONCHETI, Elder Felipe Silva, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2018. **Efeito da radiação solar e da suplementação de luz led na biossíntese de compostos bioativos em flores de capuchinha (*Tropaeolum majus* L.).** Orientador: Paulo César Stringheta.

O presente trabalho teve como objetivo estudar o efeito da radiação solar e da luz LED na concentração dos compostos bioativos em capuchinhas, pontualmente e ao longo do tempo. Foi realizado 4 estudos, o primeiro experimento caracterizou quantitativamente e qualitativamente as flores de capuchinhas cultivadas em pleno sol e sob sombreamento de 50%. Os compostos identificados e quantificados foram; antocianinas, carotenoides, fenólicos e capacidade antioxidantes. As flores vermelhas obtiveram maior teor de antocianinas totais e fenólicos totais. As flores amarelas apresentaram maiores tores de carotenoides totais. O cultivo sombreado influenciou negativamente os teores de antocianinas totais e positivamente para os teores de carotenoides totais para as flores vermelhas. Para as flores amarelas o sombreamento influenciou positivamente nos teores de antocianinas e carotenoides totais. O tipo de cultivo não afetou os perfis de compostos qualitativos produzidos. Foram identificados dezessete tipos de flavonóis e antocianinas, sendo 5 ainda não relatados (delfinidina-3-(6"hexosideo)- hexosideo, quercetina acetil di hexosideo, quercetina hexosideo, isorhamnetina hexosideo e isorhamnetina acetil hexosideo) tanto para o cultivo a céu aberto quanto sombreado. O segundo experimento teve como objetivo investigar o impacto do tempo de secagem e diferentes temperaturas como pré-tratamento para extração de antocianinas e fenólicos bem como na capacidade antioxidante das flores capuchinhas alaranjadas. As temperaturas de processo foram 40 °C, 50 °C, 60 °C e 70 °C. A secagem apresentou efeito positivo como pré-tratamento na extração de antocianinas e fenólicos totais. Os 2 ultimos experimentos foram realizados com luzes LEDs vermelha, azul e vermelha+azul como radiação fotossintética em flores vermelhas, alaranjadas e amarela de capuchinha. Os resultados das luzes LEDs foram o aumento da biossíntese de antocianinas totais nas flores vermelhas, independentemente das cores das luzes. A luz LED vermelha foi a que apresentou uma maior produtividade efetiva dos pigmentos majoritários nas flores de capuchinha, independentemente da cor das flores. As antocianinas totais apresentaram correlação positiva com fenólicos totais e com as análises de capacidade antioxidante para os extratos dos compostos fenólicos. O teor de luteína apresentou correlação negativa com antocianinas totais e fenólicos totais

e correlação positiva com a capacidade antioxidante dos extratos para carotenoides. A luz LED vermelhas apresentou maior efeito na produção efetiva de antocianinas totais e fenólicos totais, independentemente da cor das flores, sendo assim, a que apresentou melhor resposta para flores de capuchinhas para um tempo de cultivo de 60 dias. O aumento da síntese de antocianinas totais ocasiona em decréscimo na síntese de luteína indicados pela correlação negativa. Entretanto foi a luz LED azul aumentou a síntese de antocianinas totais para flores vermelhas e alaranjadas após 75 dias de cultivo. As flores amarelas suplementadas com luz LED apresentaram maiores teores de luteína e as flores vermelha e laranjas não apresentaram diferença significativas independentemente da qualidade da irradiação.

ABSTRACT

RONCHETI, Elder Felipe Silva, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2018.
Effect of solar radiation and led light supplementation on the biosynthesis of bioactive compounds in nasturtium flowers (*Tropaeolum majus* L.). Adviser: Paulo César Stringheta.

The objective of the present work was to study the effect of solar radiation and LED light on the concentration of bioactive compounds in nasturtium, punctually and over time. It was carried out 4 study, the first experiment characterized quantitatively and qualitatively the flowers of nasturtiumcultivated in full sun and under shading of 50%. The compounds identified and quantified were; anthocyanins, carotenoids, phenolics and antioxidant capacity. The red flowers obtained higher content of total anthocyanins and total phenolics. The yellow flowers showed larger tors of total carotenoids. The shaded cultivation had a negative influence on total anthocyanins and positively on total carotenoids for red flowers. For the yellow flowers the shading positively influenced anthocyanin and total carotenoid contents. The type of cultivation did not affect the profiles of qualitative compounds produced. Seventeen types of flavonols and anthocyanins were identified, 5 of which were not reported (delphinidin-3- (6 "hexoside) -hexoside, quercetin acetyl di hexoside, quercetin hexoside, isorhamnetin hexoside and isorhamnetin acetyl hexoside) for both open-air culture and shaded The second experiment aimed to investigate the impact of drying time and different temperatures as pre-treatment for anthocyanins and phenolics extraction as well as antioxidant capacity of orange capuchin flowers. Process temperatures were 40 ° C, 50 ° C, 60 ° C and 70 ° C. Drying presented a positive effect as a pretreatment in the extraction of anthocyanins and total phenolics. The last 2 experiments were performed with red, blue and red + blue LED lights as photosynthetic radiation in red, orange and yellow flowers of nasturtium. The results of LED lights were increased biosynthesis of total anthocyanins in red flowers regardless of the colors of the lights. The red LED light was the one that presented a greater effective productivity of the majority pigments in the capuchin flowers, regardless of the color of the flowers. Total anthocyanins showed a positive correlation with total phenolics and antioxidant capacity analyzes for extracts of phenolic compounds. The lutein content presented negative correlation with total anthocyanins and total phenolics and a positive correlation with the antioxidant capacity of extracts for carotenoids. The red LED light showed a greater effect on the effective production of total anthocyanins

and lutein, regardless of the color of the flowers, and thus, the one that presented the best response to capuchin flowers for a culture time of 60 days. The increase of total anthocyanins synthesis causes a decrease in the lutein synthesis indicated by the negative correlation. However the blue LED light increased the synthesis of total anthocyanins to red and orange flowers after 75 days of cultivation. The yellow flowers supplemented with LED light showed higher levels of lutein and the red and orange flowers showed no significant difference irrespective of irradiation quality.

INTRODUÇÃO GERAL

Os anseios da população vêm mudando com o passar do tempo, a procura por alimentos práticos e com compostos naturais presente em sua composição com potencial de promoção da saúde é demandando cada vez mais. Além disso, a estética nos preparos dos pratos se tornou uma nova tendência. Com isso, as flores comestíveis têm se destacado em pratos de saladas em restaurantes e no dia a dia dos consumidores.

A capuchinha (*Tropaeolum majus* L.) é uma das principais flores consumidas, as diversas cores (vermelhas, alaranjadas e amarela), elevada aceitação sensorial, praticidades para consumo, rica em diversos fitoquímicos e fácil cultivo são os principais motivos da alta demanda.

Dentro dos fitoquímicos, a capuchinha possui em sua composição dezessete tipos de flavonóis e antocianinas, possui teor de luteína maior que fontes conhecidas, como a couve, além de Vitamina C. Os fitoquímicos são influenciados por inúmeros fatores ambientais, como a temperatura e a luz, sendo esses os fatores primordiais para o crescimento e desenvolvimento das plantas e para a biossíntese dos componentes celulares.

A luz é essencial para a planta e, também, é um importante fator que influencia o crescimento e o desenvolvimento das plantas, a biossíntese dos componentes celulares e a expressão gênica das espécies vegetais (WU et al., 2007). Por exemplo, os conteúdos de glucosinolatos, vitamina C, polifenóis e carotenoides podem ser influenciados por inúmeros fatores ambientais, porém, temperatura e luz são especialmente importantes (QIAN et al., 2016).

A síntese de antocianina, flavonoides do grupo dos fenólicos, e outros compostos bioativos tem sua síntese dependente da luz. QIAN et al., (2016) em seu estudo com broto de couve, demonstrou que não somente a luz é necessária como sua fonte de radiação apresenta total diferencial.

Estudos do impacto da luz artificial em produtos agrícolas têm sido incentivadas por agências de viagens espaciais, produtores de casas de vegetação e de fazendas verticais. Além disso, pesquisa na geração de novas tecnologias na produção e na quantificação de compostos bioativos, com o intuito de aumentar a produção e produzir alimentos mais padronizados e de melhor qualidade vem aumentando, a cada ano, alavancado pela demanda das indústrias de alimentos, exigindo novos estudos. A aplicação de luz LED (diodo emissor de luz) surge como uma tecnologia promissora com o intuito de melhorar o crescimento e a qualidade das matérias-primas e, conseqüentemente, dos alimentos processados de origem vegetal. Além disso a luz LED apresenta menor gasto energético e menor formação de calor quando comparada com lâmpadas convencionais (incandescentes e fluorescentes).

A NASA (Agencia Espacial Norte Americana) vem contribuindo de forma significativa com experimentos em plantas utilizando luz LED, com o intuito de sustentar missões de longa duração tripuladas em destinos distantes no espaço. A luz azul ganhou destaque nessa evolução por apresentar excelentes resultados principalmente quando utilizada luz vermelha simultaneamente (MASSA et al., 2010).

Estudos com suplementação de luz LED vem apresentando resultados satisfatório. CHEN et al. (2014) observou maior crescimento em alface utilizado lâmpadas fluorescente suplementada com luz LED vermelha e azul quando contrastado somente com somente lâmpadas fluorescentes. Considerando a relação à produtividade/economia energética, a luz LED apresenta índices superiores quando comparado com outras fontes energéticas (POULET et al., 2014), o que estimula a utilização somente da luz LED.

Existem duas explicações para uma maior produção quando a luz LED vermelho é utilizada. A primeira se deve às curvas de McCree que indicam que os comprimentos de ondas vermelhos (600 a 700 nm) apresentam maior absorção por pigmentos vegetais. Outra explicação pode ser que a luz emitida pelo LED vermelho apresenta o comprimento

de onda de 660 nm, valor próximo ao pico de absorção máxima da clorofila, saturando o fitocromo, criando um estado de “photostationary” na ausência do vermelho distante ou do escuro (MASSA et al., 2010).

A da luz LED azul (400 a 500 nm) apresenta uma influência fotomorfogênica em plantas incluindo controle dos estômatos, que afeta as relações de troca de água e CO₂ e alongamento de caule (WU et al., 2007). Tal influência fotomorfogênica é necessária como suplemento a luz LED vermelha de alta potência, a qual é utilizada para um crescimento da planta. Entretanto, a utilização de valores acima de 100 mol.m².s⁻¹ pode não ocasionar o desenvolvimento da clorofila, mas em valores menores ou uma suplementação de 30 mol.m².s⁻¹ de luz LED azul, pode restaurar a síntese da clorofila (MASSA et al., 2010).

OBJETIVOS

Objetivo geral

- Avaliar o efeito da radiação sola biossíntese de compostos bioativos em flores de capuchinha;
- Avaliar o efeito da suplementação de luz LED na biossíntese de compostos bioativos em flores de capuchinha.

Objetivos específicos

- Identificar as antocianinas, flavonóis e carotenoides presentes nas flores vermelhas, alaranjadas e amarelas de capuchinha cultivadas sob sombreamento e a céu aberto;

- Quantificar as antocianinas e carotenoides presentes nas flores vermelhas, alaranjadas e amarelas de capuchinha cultivadas sob sombreamento e a céu aberto;
- Medir a capacidade antioxidante nas flores vermelhas, alaranjadas e amarelas de capuchinha cultivadas sob sombreamento e a céu aberto;
- Identificar os principais componentes de cada flor de capuchinha cultivadas sob sombreamento e a céu aberto;
- Estudar o efeito da suplementação longo do tempo das diferentes cores de luz LED na atividade antioxidante e compostos bioativos de flores em capuchinha;
- Identificar os principais componentes de cada flor de capuchinha submetidas a diferentes cores de luz LED ao longo do tempo.
- Avaliar o efeito da secagem nas flores alaranjada de capuchinhas.

ARTIGO 1

EFEITO DA RADIAÇÃO SOLAR NA BIOSÍNTESE DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM FLORES DE CAPUCHINHA (*Tropaeolum majus* L.)

HIGHLIGHTS

- Foram identificados cinco novo compostos fenólicos nas flores de capuchinha.
- Flores vermelhas apresentaram maior sensibilidade aos diferentes tipos de cultivos.
- A radiação solar não alterou os parâmetros L*, saturação de cor e tonalidade cromática nas flores.
- A luteína é o único carotenoide presente nas flores de capuchinha.
- A capuchinha é rica em luteína.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo investigar a influência da radiação solar nas biossínteses de compostos bioativos em flores de capuchinha. Flores vermelha, alaranjada e amarela foram cultivadas em canteiros à céu aberto e sob sombreamento de 50%. Após a colheita foram identificados e quantificados compostos; total das antocianinas, carotenoides, fenólicos e capacidade antioxidantes. As flores vermelhas apresentaram maior concentração de antocianinas totais e fenólicos totais. As flores amarelas apresentaram maior teor de luteína, único carotenoide identificado, comparadas a vermelha e alaranjadas. O cultivo sombreado influenciou negativamente os teores de antocianinas totais e positivamente para os teores de luteínas para as flores vermelhas. Em flores amarelas o sombreamento influenciou positivamente os teores de antocianinas e luteínas. Os níveis de radiação não influenciaram nos teores de antocianinas totais, fenólicos totais e luteínas de flores alaranjadas. O tipo de cultivo não afetou os perfis de compostos produzidos, assim foram identificados dezessete tipos de flavonóis e

antocianinas, sendo 5 ainda não relatados (delfinidina-3- (6 "hexosideo) -hexosideo, quercetina acetil hexosideo, quercetina hexosideo, isorhamnetina hexosideo e isorhamnetina acetil hexosideo) tanto para o cultivo a céu aberto quanto para o cultivo sombreado. Entretanto, mesmo apresentando impacto quantitativo no teor de pigmentos, o sombreamento não impactou nos parâmetros de cor.

Palavras-chave: HPLC-DAD-ESI-MS/MS, flores comestíveis, luteína, antocianina e capacidade antioxidante.

INTRODUÇÃO

As flores comestíveis são muito apreciadas na gastronomia e vêm se destacando no cenário mundial como um alimento saboroso, esteticamente apreciável e com valores nutricionais desejáveis. Dentre elas, destaca-se o *Tropaeolum majus* L., que é uma planta tropeolácea conhecida popularmente pelos nomes agrião-do-méxico, chagas, colearia-dos-jardins, flor-de-chagas, flor-de-sangue, mastruço, nastúrcio e, principalmente capuchinha (RIBEIRO; BARBOSA; COSTA, 2012). As flores de capuchinha apresentam coloração avermelhada, amarelada ou alaranjada, com predominância fenotípica alaranjada, além de possuir compostos bioativos (GARZÓN; WROLSTAD, 2009; GARZÓN et al., 2015; KOIKE et al., 2015).

Os compostos bioativos presentes nas flores de capuchinha dentre, estão os compostos com enxofre (glucotropaeolina), flavonóis (quercetina, kaempferol e mircetina), antocianinas (delfinidina, cianidina e pelargonidina), carotenoides (luteína, zeaxantina e β -caroteno), ácidos fenólicos (ácido clorogênico) e a vitamina C (RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008; BAZYLKO et al., 2013; GARZÓN et al., 2015).

Várias pesquisas têm sido realizadas com flores comestíveis em função do potencial nutricional e sensorial das diferentes espécies (MLCEK; ROP, 2011; FERNANDES et al., 2017; PIRES et al., 2018). Tais evidências são atribuídas, também

à presença de compostos bioativos, que apresentaram resultados positivos de inúmeros efeitos fisiológicos em humanos, incluindo a inibição da agregação de plaquetas, redução do risco de doença cardíaca coronária e cancro e, prevenção de danos oxidativos em lipídeos e lipoproteínas de baixa densidade (HE et al., 2015).

A produção de fitoquímicos em espécies vegetais é influenciada por fatores ambientais, como a temperatura e a luz, sendo esses os fatores primordiais para o crescimento e desenvolvimento das plantas e para a biossíntese dos componentes celulares (WU et al., 2007; QIAN et al., 2016). Porém, não foram encontrados estudos sobre a influência de diferentes níveis de radiação solar na biossíntese dos compostos bioativos, em flores de capuchinha.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da intensidade da radiação solar, para as diferentes cores de flor de capuchinha, na susceptibilidade de produção de compostos bioativos bem como a capacidade antioxidante.

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Reagentes químicos

Para a obtenção dos extratos foram utilizados etanol, acetona, éter de petróleo e sulfato de sódio anidro e HCl, todos com grau de pureza analíticos (*Vetec Sigma-Aldrich, Brasil*). Para análise de compostos fenólicos e capacidade antioxidante foram utilizados *Folin-Ciocalteu*, radicais 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato) (ABTS^{•+}) e 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), carbonato de sódio, persulfato de potássio, trolox (*Sigma- Aldrich, Germany*) e ácido gálico (*Analyticals, USA*). Para a quantificação e identificação dos carotenoides foram utilizados metanol, acetonitrila e acetato de etila,

grau HPLC (*J. T. Baker, USA*) e os padrões beta-caroteno, alfa-caroteno e luteína (*Sigma-Aldrich, Germany*).

2.2 Condição de cultivo, colheita e pós colheita

O cultivo das flores foi feito no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, no setor de floricultura. As sementes de capuchinha foram semeadas em bandejas de isopor e transplantadas para canteiros após 14 dias (em fevereiro de 2016). Foram selecionadas as mudas que obtiveram desenvolvimento de 10 cm de altura. As mudas foram transplantadas para três canteiros a céu aberto e três sob sombreamento de 50% (tela de sombreamento de polietileno de cor preta com 50% de cobertura – radiação 50%). Após o transplante as plantas foram irrigadas duas vezes por dia (ao amanhecer e ao entardecer). O período de cultivo teve duração de 60 dias, após o transplante. As flores foram colhidas, ao amanhecer, retirando as pétalas juntamente com os pistilos que apresentavam um estágio de desenvolvimento entre XII e XIV no qual a capuchinha apresenta maior aceitação entre os consumidores segundo (RIBEIRO; BARBOSA; COSTA, 2012). As análises foram realizadas imediatamente após a colheita.

2.3 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido seguindo o delineamento inteiramente casualizado com o modelo fatorial 3 x 2, com 3 repetições. Como fontes de variações (fatores) foram utilizadas as cores das flores (vermelhas, alaranjadas e amarelas) e a radiação solar em diferentes tipos de cultivos (céu aberto e sob sombreamento de 50%). Os níveis utilizados nos experimentos para a cor das flores foram amarela, alaranjada e vermelha e os níveis

de radiação solar foram céu aberto (radiação de 100%) e sob sombreamento (radiação de 50%). Os seis canteiros foram montados de forma homogênea e a escolha dos sombreamentos foram feitas ao acaso, assim como a disposição das plantas nos canteiros. Com a combinação dos níveis dos fatores cor de flor e radiação, foram obtidos seis tratamentos: Flor amarela a céu aberto (A1), flor amarela sob sombreamento (A2), flor alaranjada a céu aberto (L1), flor alaranjada sob sombreamento (L2), flor vermelha a céu aberto (V1) e flor vermelha sob sombreamento (V2).

2.4 Obtenção dos extratos

Para análise dos compostos bioativos foram elaborados três extratos. Os extratos para compostos fenólicos, utilizados para análises de antocianinas totais, fenólicos totais e capacidade antioxidante, seguiu a metodologia de IBRAHIM et al., (2013) com modificações. Os extratos para carotenoides obtidos segundo a metodologia de NACHTIGALL; STRINGHETA; FIDELIS, (2007), foram utilizados para a determinação de carotenoides totais, identificação e quantificação de carotenoides por HPLC e capacidade antioxidante. Por fim, os extratos para identificação das antocianinas e flavonóis seguiram a metodologia de DE CASTILHOS et al., (2017).

Para a obtenção do extrato fenólico foram pesados 5 g de flores de capuchinha de cada tratamento trituradas com aproximadamente 50 mL de etanol: água 70:30 (v/v), com pH ajustado para 2,0 pela adição de HCl concentrado e mantida em refrigeração (10 ± 2 °C), durante 24 h. Em seguida, o extrato foi filtrado à vácuo, em papel Whatman nº 1.

2.5 Quantificação de antocianinas totais

As antocianinas totais (AT) presentes nos EF foram quantificadas de acordo com o método proposto por FULEKI; FRANCIS, (1968). Os resultados foram expressos em microgramas de antocianinas por grama de flor em base úmida ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

2.6 Quantificação de carotenoides totais

A determinação de carotenoides totais (CT) foi realizada segundo NACHTIGALL; STRINGHETA; FIDELIS, (2007), utilizando o EC. Os teores de carotenoides totais foram expressos em microgramas de luteína por g de flor em base úmida ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

2.7 Quantificação de fenólicos totais

A quantificação dos fenólicos totais (FT) foi realizada segundo método proposto por SINGLETON & ROSSI, (1965). Os EF foram dissolvidos em água destilada e quantificados por meio da curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em miligrama equivalente de ácido gálico (AGE) por grama de flor em base úmida ($\text{mg AGE}\cdot\text{g}^{-1}$).

2.8 Identificação e quantificação de carotenoides por HPLC-DAD

Uma alíquota de 4 mL do material obtido do EC das flores de capuchinha foi evaporada sob fluxo de nitrogênio e, em seguida, recuperada em 2 mL de metanol. As alíquotas foram filtradas em unidade filtrante HV Millex, polietileno, 0,45 μm de porosidade e injetadas na coluna cromatográfica para análise. As seguintes condições

cromatográficas que foram utilizadas: o sistema HPLC-DAD composto por bomba de alta pressão, modelo LC-10AT VP; injetor manual, com “loop” de 50 μ L, modelo SIL-10 Af; coluna C18 de 5 μ m e 250 mm x 4 mm; detector de arranjo de diodos UV-Visível, modelo SPD-M10A; software “Multi System” modelo Class VP 6.1 para controle de até quatro sistemas; com fase móvel constituindo 70% de metanol, 20% de acetato de etila e 10% de acetonitrila. Com um fluxo de 1,7 mL/minuto e tempo de corrida aproximadamente de 15 minutos. A detecção foi feita a 450 nm e as análises foram conduzidas injetando-se 50 μ L dos extratos das flores de capuchinha (PINHEIRO SANT’ANA et al., 1998).

A quantificação foi efetuada empregando padrão externo. Foram injetadas cinco concentrações conhecidas de um padrão de luteína por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), para detecção. O cálculo da área de cada pico foi utilizado para o estabelecimento da curva de calibração. A quantificação foi feita na curva relacionando-se a área do pico formado pela amostra com aquela obtida na curva de calibração, por meio de uma equação de regressão.

2.9 Capacidade antioxidante

Para a determinação da capacidade antioxidante equivalente de trolox, foram utilizados os EF e EC seguindo a metodologia de RE et al., (1999) para a técnica do radical ABTS^{•+} e KIM et al., (2002) para a técnica do radical DPPH seguiu. Foram utilizados o Trolox como padrão e os resultados foram expressos em micromol equivalente de Trolox por grama de flor em base úmida (μ mol Tx•g⁻¹).

2.10 Identificação das antocianinas e flavonóis por HPLC-DAD-ESI-MSⁿ

Foi utilizado o extrato EAF para identificação das antocianinas e dos flavonóis por HPLC Agilent 1200 equipado com DAD (Agilent, Alemanha) e acoplado a AB Sciex 3200 Q TRAP (Applied Biosystems) um sistema de espectrometria de massa de ionização por eletrospray (ESI-MS/MS). O sistema cromatográfico foi gerenciado pela Agilent Chem Station (versão B.01.03) estação de processamento de dados de espectros de massa foram processados com o software Analyst MDS (Applied Biosystems, versão 1.5).

Foi injetada 20 µL de amostra com fluxo de 0,19 mL/min e tempo de corrida igual 74 min em uma coluna de fase reversa Zorbax Eclipse XDB-C18 (2,1 × 150 mm, 3,5 µm de partículas, Agilent, Alemanha). A fase móvel usada foi: solvente A (água/ ácido fórmico/ acetonitrila 885/85/30 mL/mL/mL); solvente B (acetonitrila/água/ácido fórmico 500/415/85 mL/mL/mL) e solvente C (metanol/ácido fórmico/água 900/85/15 mL/mL/mL). Para análises de flavonóis os gradientes utilizados foram: 0 min (96% A e 4% B), 10 min (96% A e 4% B) 60 min (70% A, 15% B e 15% C), 61 min (50% A, 25% B e 25% C), 65 min (0% A, 50% B e 50% C), 68 min (0% A, 50% B e 50% C) e 74 min (96% A e 4%).

A identificação de antocianinas e flavonóis foi baseada nos dados espectroscópicos (UV-Vis e MS / MS) obtidos de padrões. Os cromatogramas do DAD foram obtidos em 520 nm para antocianinas e 360 para os flavonóis. As análises foram realizadas em duplicata (DE CASTILHOS et al., 2017).

2.11 Análise colorimétrica

Foi realizada a análise instrumental das cores das flores de capuchinhas pela leitura direta de reflectância do sistema de coordenadas geométricas “L*” (luminosidade), “a*” (intensidade de vermelho e verde) e “b*” (intensidade de amarelo e azul), empregando-se a escala de cor CIELAB, com iluminante D₆₅ e ângulo de observação de

10°, utilizando-se colorímetro Hunter Lab, modelo Colorquest XE (Reston, USA). Os valores de C* (cromaticidade ou saturação de cor) e h (ângulo de tonalidade cromática) foram calculados a partir dos parâmetros a* e b*, pelas Equações 1 e 2, respectivamente.

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$h = \arctan(b^*/a^*) \quad (2)$$

2.12 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância, teste de Newman-Keuls e análise do desdobramento das interações significativas. As variáveis resposta foram correlacionadas pela análise de componentes principais. As análises foram realizadas utilizando software SAS, versão 9.3 (Statistical Analysis System – SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), licenciado para Universidade Federal de Viçosa e RStudio (software livre). Os resultados foram expressos em média±desvio padrão. A significância estatística foi fixada em p<0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias e seus respectivos desvios padrões para as flores amarelas, alaranjadas e vermelhas cultivada em a pleno sol e sob sombreamento de 50% para os compostos fenólicos e carotenoides são apresentados na Tabela 1. Foram realizadas análises de variâncias e verificado que todas as variáveis respostas antocianinas totais, carotenoides totais, luteína, fenólicos totais e capacidade antioxidante pelos métodos ABTS e DPPH, apresentaram efeito significativo (p<0,05) de interação da coloração das flores de capuchinha com o sombreamento e cultivo a céu aberto. Isto significa que cada cor de

flor sofre influência de forma diferente quando cultivadas a pleno sol ou sob sombreamento de 50%, evidenciando uma dependência entre os fatores.

Neste caso foi avaliado o comportamento de um fator dentro de cada nível do outro fator (Tabela 1).

Tabela 1. Teor de Antocianinas totais, Fenólicos Totais, Capacidade Antioxidantes (ABTS e DPPH) Carotenoide Totais, Luteína e Capacidade Antioxidantes (ABTS)

Cor		Radiação solar							
		100%		50%		100%		50%	
Extrato fenólico	AT (μg·g ⁻¹)		FT (mg de AGE·g ⁻¹)		ABTS (μmol de tx·g ⁻¹)		DPPH (μmol de tx·g ⁻¹)		
	Amarela	16,63±1,56 ^{Cb}	29,77±3,17 ^{Ca}	1,25±0,03 ^{Ba}	1,27±0,07 ^{Ca}	9,06±0,93 ^{Bb}	13,61±1,49 ^{Aa}	6,93±0,65 ^{Ba}	8,22±1,20 ^{Aa}
	Alaranjada	149,22±7,79 ^{Ba}	121,56±8,98 ^{Ba}	1,64±0,13 ^{Ba}	1,74±0,05 ^{Ba}	8,80±0,82 ^{Ba}	7,97±0,12 ^{Ba}	8,71±1,22 ^{Bb}	12,56±1,25 ^{Aa}
	Vermelha	255,20±0,64 ^{Aa}	144,30±13,86 ^{Ab}	3,20±0,39 ^{Aa}	2,62±0,09 ^{Aa}	19,64±2,17 ^{Aa}	10,03±1,15 ^{Bb}	19,04±3,17 ^{Aa}	10,47±4,70 ^{Aa}
Cor		Radiação solar							
		100%		50%		100%		50%	
Extrato carotenoides	CT (μg·g ⁻¹)		LUT (μg·g ⁻¹)		ABTS (μmol de tx·g ⁻¹)				
	Amarela	216,14±9,11 ^{Aa}	224,37±10,84 ^{Aa}	218,06±1,50 ^{Aa}	185,81±2,72 ^{Ab}	10,48±0,28 ^{Bb}	13,33±0,41 ^{Aa}		
	Alaranjada	109,64±33,71 ^{Ba}	117,38±3,71 ^{Ba}	71,66±2,24 ^{Ca}	73,68±2,03 ^{Ba}	10,58±0,44 ^{Bb}	11,64±0,29 ^{Ba}		
	Vermelha	132,56±10,53 ^{Ba}	78,79±2,517 ^{Cb}	126,32±6,44 ^{Ba}	50,66±7,31 ^{Cb}	12,28±0,27 ^{Aa}	7,92±1,90 ^{Bb}		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Newman-Keuls, 5%; letra maiúscula compara as médias dentro da coluna; letra minúscula compara as médias dentro de cada linha.

3.1 Compostos Fenólicos e capacidade antioxidante do extrato fenólico

3.1.1 Antocianinas Totais e Fenólicos Totais

Os teores de antocianinas totais variaram de 16,63 a 255,20 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de flor, conforme a Tabela 1. Ao avaliar as diferentes cores das flores dentro de cada nível de radiação (Tabela 1) foi possível observar que a diferença fenotípica predominou, com as flores de cor vermelha como maior fonte de antocianinas totais, seguido pelas alaranjadas e amarelas ($p < 0,05$).

No efeito da radiação dentro de cada nível de cor das flores (Tabela 1) verificou-se que as flores vermelhas cultivadas sob sombreamento obtiveram teores de antocianinas totais inferiores às cultivadas a pleno sol. O contrário foi observado nas flores de cor amarela em que as flores cultivadas sob sombreamento apresentaram maiores teores de antocianinas totais. O sombreamento não apresentou influência significativa ($p > 0,05$) nos teores de antocianinas totais das flores alaranjadas.

A incidência solar direta levou a um aumento na síntese de antocianina das flores vermelhas. Tal acréscimo na biossíntese pode estar relacionado ao efeito da radiação solar, ou da temperatura, como também à outros tipos de estresses (HATIER & GOULD, 2008; HAZRATI et al., 2016). Entretanto, as antocianinas possuem capacidade de proteção das células a alta intensidade da luz, proteção chamada de tecido de fotoinibição, ou redutor de stress da luz (HAZRATI et al., 2016). O aumento da radiação solar pode fornecer energia de ativação suficiente para o aumento da atividade catalítica da enzima Fenilalanina Amônia Liase (PAL), reguladora chave da rota do fenilpropanóide, dentro da rota do ácido chiquímico, cuja rota é responsável pela produção da maioria dos compostos fenólicos (JORRÍN; LÓPEZ-VALBUENA; TENA, 1990).

A coloração alaranjada é resultante da mistura de pigmentos amarelos (luteínas) e pigmentos vermelhos (antocianinas). Essa mistura de pigmentos pode ser a explicação da flor alaranjada não sofrer influência dos níveis de radiação solar, mantendo o equilíbrio entre os pigmentos. Possivelmente, a energia proveniente da radiação solar, em plantas cultivadas a céu aberto, não afetou as atividades catalíticas das rotas metabólicas das flores alaranjadas significativamente para alterar os teores de antocianinas. Para as flores amarelas a céu aberto pode ter ocorrido um aumento da atividade de outras enzimas, dentro de sua rota metabólica, diminuindo os teores de antocianinas, quando comparada as flores cultivadas sob sombreamento.

GARZÓN & WROLSTAD, (2009) obtiveram teor de antocianina igual $720 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ de flor em pétalas de flor alaranjada e GARZÓN et al., (2015) encontraram 319, 582 e $1145 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ de flor para as flores de cor amarela, alaranjada e vermelha, respectivamente. A diferença entre as médias de antocianinas totais das flores, encontradas neste estudo, com a literatura explica-se pelo uso das pétalas das flores somente (estudos da literatura) o que aumenta significativamente o teor de AT por grama de flor. Este experimento optou por usar a flor inteira (pétalas mais pistilo), por se tratar do consumo real da espécie.

O teor de fenólicos totais variaram entre 1,246 a 3,197 mg de AGE $\cdot \text{g}^{-1}$ de flor. As flores vermelhas obtiveram maiores teores de fenólicos totais, seguidas das flores alaranjadas. Entretanto, as flores amarelas, quando cultivadas a céu aberto, apresentaram o mesmo teor de fenólicos totais que as flores alaranjadas ($p > 0,05$). Este fato pode ser explicado pelo elevado teor de fenólicos não antociânicos presente na flor amarela. O cultivo a céu aberto, ou sob sombreamento, afetou a concentração de fenólicos totais apenas nas flores amarelas.

O teor de fenólicos totais apresentou um perfil semelhante ao de antocianina, pois os flavonoides e a maioria dos compostos fenólicos não antociânicos possuem rota metabólica semelhante (TERAHARA, 1986). Embora a luz possua efeito deletério sobre

a síntese de compostos fenólicos (ARIAS et al., 2016), no presente estudo tal efeito não foi observado.

GARZÓN & WROLSTAD (2009) encontraram 4,06 mg de AGE.g⁻¹ de flor para flores alaranjadas. Pode-se destacar que as flores de cor amarela possuem como grupos predominantes os compostos fenólicos não antociânicos, como os derivados do ácido hidroxicinâmico. Já as flores alaranjadas tem como principal grupo, derivados do kaempferol e as flores vermelhas os flavonoides, derivados de quercetina, como grupo majoritário (GARZÓN et al., 2015).

3.1.2 Capacidade Antioxidante

A capacidade antioxidante foi medida pela inibição dos radicais ABTS^{•+} e DPPH, pelo mecanismo de doação de elétrons ou de prótons (H⁺) e foi comparado por equivalência ao padrão de trolox. Os valores obtidos pela inibição de radicais livres pela técnica ABTS^{•+} foram entre 7,97 a 19,64 µmol de trolox.g⁻¹ de flor. Já para o DPPH foram de 6,93 a 19,04 µmol de trolox.g⁻¹ de flor. O resultados foram diferentes dos encontrados por GARZÓN & WROLSTAD, (2009) que obtiveram 458 µmol de trolox.g⁻¹ de flor e 91,9 µmol de trolox.g⁻¹ de flor, para os métodos ABTS^{•+} e DPPH, respectivamente. As condições dos ensaios e dos solventes utilizados, provavelmente foram fonte de variação para estes resultados discrepantes, entretanto, a tendência dos maiores valores para o radical ABTS^{•+} se manteve.

A capacidade antioxidante das diferentes cores das flores de capuchinha, cultivadas a céu aberto, apresentou o mesmo comportamento dos FT para ambos os radicais. No entanto, não houve diferença significativa para as flores cultivadas sob sombreamento para o radical DPPH, e para o radical ABTS^{•+} as flores de cor amarela

apresentaram a maior capacidade antioxidante, diferindo significativamente ($p < 0,05$) das demais.

Quando avaliado o efeito da incidência solar na capacidade antioxidante, para as diferentes cores das flores, notou-se que as flores vermelhas cultivadas a céu aberto apresentaram maior capacidade antioxidante para o radical ABTS^{•+} e DPPH. Esse comportamento não foi observado para as flores sob sombreamento, onde as flores de cor amarela obtiveram a maior média, para o radical ABTS^{•+}. Para o radical DPPH somente as flores alaranjadas apresentaram diferença significativa entre os tipos de radiação incidente.

3.2 Carotenoides e capacidade antioxidante

3.2.2 Identificação de carotenoides por HPLC

A luteína foi identificada como único carotenoide presente nas flores de capuchinha (Figuras 1), dado esse que corrobora com obtidos por NIIZU & RODRIGUEZ-AMAYA, (2005).

As flores de capuchinha devem ganhar destaque não somente pelos seus teores de vitaminas, flavonóis e antocianinas, mas também pelo seu teor de luteína, um potente antioxidante (NACHTIGALL; STRINGHETA; FIDELIS, 2007). Além disso, a luteína pode ser fornecida ao feto e ao bebê em desenvolvimento, pelo sangue e pelo leite materno, respectivamente, desempenhando um papel importante no desenvolvimento visual e cognitivo (GIORDANO; QUADRO, 2018). Portanto, o consumo de capuchinha deve ser incentivado também para gestantes e lactantes, por apresentarem esses efeitos benéficos à saúde.

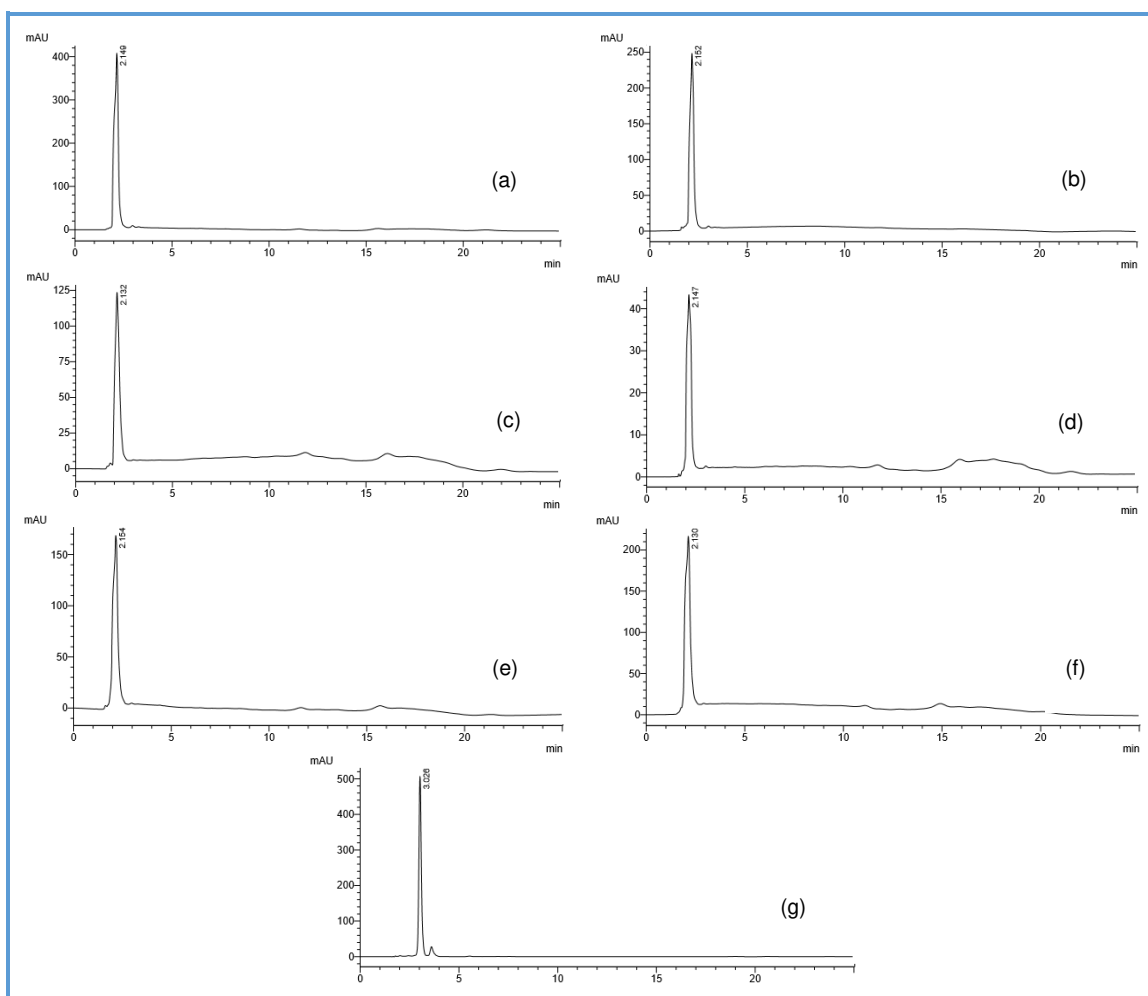


Figura 1. Cromatogramas dos tratamentos (a) flores vermelhas cultivadas a pleno sol, (b) flores vermelhas cultivadas sob sombreamento de 50%, (c) flores alaranjadas cultivadas a pleno sol, (d) flores alaranjadas cultivadas sob sombreamento de 50%, (e) flores amarelas cultivadas a pleno sol, (f) flores amarelas cultivadas sob sombreamento e padrão de luteína (g).

3.2.2 Teor de Carotenoides Totais e Luteína

As concentrações de carotenoides totais apresentaram uma variação de 78,79 a 224,37 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de flor (Tabela 1). Assim como observado no extrato hidrossolúvel, na determinação do teor de antocianinas totais, os carotenoides totais também apresentaram diferença seguindo suas características fenotípicas. Apenas a flor vermelha apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tipos de cultivos, onde observou-se que o teor de carotenoides totais em flores cultivadas à céu aberto foi maior do que nas flores cultivadas sob sombreamento.

NACHTIGALL; STRINGHETA; FIDELIS, (2007) avaliaram 20 hortaliças presentes na dieta brasileira e obtiveram como maiores fontes de carotenoides totais a couve e a rúcula, com $78,9 \mu\text{g.g}^{-1}$ e $71,8 \mu\text{g.g}^{-1}$, respectivamente. Com isso, utilizando a flor de capuchinha amarela como referência, esta pode possuir até 2,8 vezes mais carotenoides totais comparado à couve.

O teor de luteína quantificada em HPLC variou de 50,66 a $218,06 \mu\text{g.g}^{-1}$ de flor (Tabela 1). Quando se compara o teor de luteína apresentado pelo método HPLC, com o teor de carotenoides totais (entre $78,79$ a $224,37 \mu\text{g.g}^{-1}$ de flor), sugere-se que o método espectrofotométrico é uma alternativa viável para quantificar luteína em flores de capuchinha. As variáveis cores das flores dentro dos níveis de radiação também apresentaram uma tendência semelhante à dos carotenoides totais.

Os níveis de luz influenciaram a síntese de carotenoides, tanto nas flores vermelhas, quanto nas flores amarelas. As flores vermelhas tiveram a síntese de carotenoides aumentada com a incidência de luz solar direta, predominando a carotenogênese. Entretanto, para as flores amarelas o excesso de luz resultou em predominância da fotodegradação, comum em vegetais folhosos. O efeito protetor natural das antocianinas como filtro solar pode ter influenciado em uma menor fotodegradação dos carotenoides nas flores vermelhas. As flores alaranjadas não sofreram efeito da luz e seguiram sua síntese metabólica sem alteração (COSTA et al., 2015; RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008).

3.2.3 Capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante do extrato lipossolúvel de flores de capuchinha apresentou uma variação semelhante ao extrato hidrossolúvel para o radical ABTS^{•+}, variando entre $7,92$ a $13,33 \mu\text{mol de trolox.g}^{-1}$ de flor. As flores vermelhas obtiveram

maior capacidade antioxidante, enquanto as alaranjadas e amarelas não diferiram entre si quando cultivadas a céu aberto. Em cultivo sombreado, a flor amarela apresentou maior capacidade antioxidante e as vermelhas e alaranjadas não apresentaram diferença significativa ($p>0,05$).

O extrato lipossolúvel não foi capaz de inibir o radical DPPH. O radical DPPH possui em sua estrutura dois anéis aromáticos próximos a um anel picrilhidrazila (anel aromático ligado a três grupos nitro (NO_2) e uma hidrazina) ligados a um átomo de nitrogênio com um elétron desemparelhado. A proximidade dos anéis aromáticos do radical DPPH promove um impedimento estérico evitando a aproximação física da $-\text{OH}$ dos compostos antioxidantes (BONDET; BERSET; CHIMIE, 1997), a luteína possui uma cadeia linear longa e esse impedimento estérico pode ter evitado a estabilização do radical.

3.3 Identificação das antocianinas e flavonóis

Os perfis de antocianinas e flavonóis encontrados, foram idênticos para as flores vermelhas, alaranjadas e amarelas. A diferença de radiação solar não afetou a rota metabólica da biossíntese de antocianinas e flavonóis de forma qualitativa, somente quantitativa, gerando assim o mesmo perfil para as flores cultivadas a céu aberto e sob sombreamento. Foram identificados dezessete compostos (Tabela 2), sendo 5 ainda não relatados; quatro antocianinas, dentre estas estruturas, dois derivados de delphinidina, um de cianidina e um de palargonidina. Treze estruturas de flavonóis, sendo três derivados de miricetina, quatro derivados de quercetina, quatro de kaempferol e dois derivados de isoramnetina. Os resultados foram obtidos através dos espectros de fragmentação de massa (MS e MS / MS) e UV-visível dos espectros de absorção DAD-cromatogramas a

520 nm para antocianina e 320 para flavonóis. Os resultados foram comparados com dados da literatura e, em alguns casos foram utilizados seus respectivos padrões.

Tabela 2 – Antocianinas e flavonóis das flores de capuchinha.

Antocianinas	t _R (min)	MS (<i>m/z</i>)	MS/MS (<i>m/z</i>)
delfinidina-3-dihexosideo	5.0	627	303
cianidina-3- sophorose	7.2	611	287
pelargonidina-3- sophorose	9.4	595	271
delfinidina-3-(6'' hexosideo)- hexosideo	10.2	627	465; 303
Flavonols	t _R (min)	MS (<i>m/z</i>)	MS/MS (<i>m/z</i>)
miricetina -3-dihexosideo	8.6	643	481; 319
miricetina -3- acetil dihexosideo	10.9	684	524; 319
quercetina-3-dihexosideo	14.1	627	465; 303
miricetina -3-hexosideo	14.7	481	319
quercetina-3- acetil dihexosideo	19.7	670	508; 303
kaempferol-3-dihexosideo	22.5	611	287
quercetina-3-hexosideo	26.5	465	303
kaempferol-3- acetil dihexosideo	28.7	654	492; 287
quercetina -3- acetil hexosideo	31.2	508	303
kaempferol-3-dihexosideo	36.5	449	287
kaempferol -3- acetil hexosideo	42.4	492	287
isorhamnetina-3-hexosideo	45.4	479	317
isorhamnetina-3- acetil hexosideo	50.4	522	317

A delfinidina-3-dihexosideo e delfinidina-3-(6''hexosideo)-hexosideo, com íons progenitores a *m/z* 627, obtiveram dados espectrais correspondentes aos padrões, em particular uma perda de 324 Da, sugerindo uma porção de dihexosideos. Os íons moleculares progenitores *m/z* 611, com íons resultantes 287, caracterizou-se como cianidina-3- sophorose. De forma análoga, o composto pelargonidina-3- sophorose foi caracterizado pelos íons progenitoras 595, com sinal de íons aglicona a *m/z* 271, nos seus

respectivos espectros MS. Inclusive, foi comparado o tempo de residência com as propriedades UV-vis dos seus respectivos padrões.

Os derivados de miricetina (Tabela 2), miricetina -3-dihexosideo, miricetina -3-acetil dihexosideo e miricetina-3-hexosideo, proporcionaram íons resultantes de 319 Da e progenitores com m/z 643, 684 e 627 Da, respectivamente. Os fragmentos de íons produzidos pela clivagem foram a dihexosideo (324 Da), acetil dihexosideo (365 Da) e hexosideo (162 Da). Os derivados de quercetina, quercetina-3-dihexosideo, quercetina-3-acetil dihexosideo, quercetin-3-hexosideo e quercetina-3-acetil hexosideo, proporcionaram íons resultantes de 303 Da e progenitores com m/z 627, 670, 465 e 508 Da, respectivamente. Foram identificados os derivados de kaempferol, kaempferol-3-dihexosideo, kaempferol-3-acetil dihexosideo, kaempferol-3-hexosideo, kaempferol -3-acetil hexosideo, que proporcionaram íons resultantes de 287 Da e progenitores com m/z 611, 654, 449 e 492 Da, respectivamente. Os fragmentos de íons produzidos pela clivagem dos derivados de quercetina e kaempferol foram a dihexosideo (324 Da), acetil dihexosideo (365 Da), hexosideo (162 Da) e acetil hexosideo (205 Da). Os derivados de isoramnetina, isoramnetin-3-hexosideo e isoramnetina -3-acetil hexosideo, proporcionaram íons resultantes de 317 Da e progenitores com m/z 479 e 522 Da..

GARZÓN et al., (2015) e KOIKE et al., (2015) também descreveram o perfil de antocianinas e flavonóis para as flores de coloração vermelha, alaranjada e amarelas e todos os derivados de antocianinas e flavonóis estão em conformidade com os perfis encontrados. Entretanto, o presente estudo identificou diferentes derivados de delphinidina (delphinidina-3-(6''hexosideo)-hexosideo), quercetina (quercetina acetil dihexosideo e quercetina hexosideo) e derivados de isoramnetina (isoramnetina hexosideo e isoramnetina acetil hexosideo), . A diferença nos perfis encontrados pode ser explicada pela presença do pistilo juntamente com as pétalas de flores, que pode apresentar estes derivados em sua composição, sugerindo assim, um estudo de caracterização somente do

pistilo. Além disso, a variedade da flor, a diferença climática e de solo podem interferir nas expressões gênicas de enzimas específicas nas rotas biossintéticas.

As flores de capuchinha possuem teores de miricetinas comparáveis com plantas medicinais tradicionais. Além disso, possuem elevados teores de quercetina, tornando-se uma alternativa viável quando comparada às fontes primárias na dieta humana, principalmente a americana, para qualquer cor de flor (GARZÓN et al., 2015).

3.4 Análises colorimétricas

A Tabela 3 apresenta os resultados dos parâmetros de cor L^* , C^* e h^* , para os diferentes tratamentos estudados. Não houve interação significativa entre os tipos de cultivo e a cor de flor ($p > 0,05$), assim sendo, não foi realizado o desdobramento e os fatores foram avaliados separadamente. Os diferentes cultivos, a céu aberto e sob sombreamento, não apresentaram influências significativas na luminosidade (L^*), saturação (C^*) e tonalidade (h^*), apresentando diferença somente entre as cores de flor (Tabela 3). As flores amarelas apresentaram maiores valores de luminosidade e saturação de cor, enquanto sua tonalidade ficou em valores amarelado, evidenciando a luteína como pigmento majoritário. As flores vermelhas apresentaram menores valores de luminosidade e saturação e sua tonalidade ficou próxima ao vermelho alaranjado o que evidencia a antocianina como pigmento majoritário e a presença da luteína impactando na cor da flor. As flores alaranjadas são as flores que obtiveram valores intermediários tanto para os compostos fenólicos quanto os carotenoides e essa tendência se manteve nos parâmetros de luminosidade, saturação e tonalidade.

Tabela 3. Coordenadas colorimétricas de flores de capuchinhas amarela, alaranjada e vermelha cultivadas a céu aberto e sob sombreamento

Tratamentos	L*	C*	Hue
Amarela céu aberto	64,48±0,13 ^a	67,34±0,13 ^a	1,435±0,010 ^a
Amarela sombreada	64,43±0,70 ^a	66,75±0,45 ^a	1,437±0,045 ^a
Alaranjada céu aberto	59,39±1,70 ^b	54,42±1,86 ^b	1,167±0,028 ^b
Alaranjada sombreada	57,53±0,43 ^b	55,87±0,31 ^b	1,164±0,012 ^b
Vermelha céu aberto	42,30±2,30 ^c	51,72±0,97 ^c	0,521±0,043 ^c
Vermelha sombreada	46,66±4,12 ^c	49,09±1,67 ^c	0,548±0,004 ^c

Apesar da influência significativa da radiação solar nos teores de pigmentos, ela não foi suficiente para causar diferença perceptível nos parâmetros de cor, o que permite ao produtor optar por qualquer tipo de plantio, sem ter variação colorimétrica na capuchinha. No entanto, existe variação nos teores de pigmentos (antocianinas e luteínas), o que deve ser levado em conta na escolha do tipo de cultivo pelo produtor, em função do objetivo.

3.5 Análise de componente principal

Foi realizada análise de componentes principais (ACP), para evidenciar as diferenças entre as cores de flores cultivadas sob sombreamento e a céu aberto, e, identificar as variáveis que podem melhor explicar essa variação.

A Figura 2 é uma projeção, dos resultados obtidos pela ACP, das flores de capuchinhas (amarelas, alaranjadas e vermelhas) cultivadas em pleno sol e sombreamento de 50%. Cada eixo explica uma percentagem da variação total existente entre as médias dos tratamentos em relação as análises dos compostos bioativos. O Biplot explica 86,3% da variabilidade entre as médias dos tratamentos.

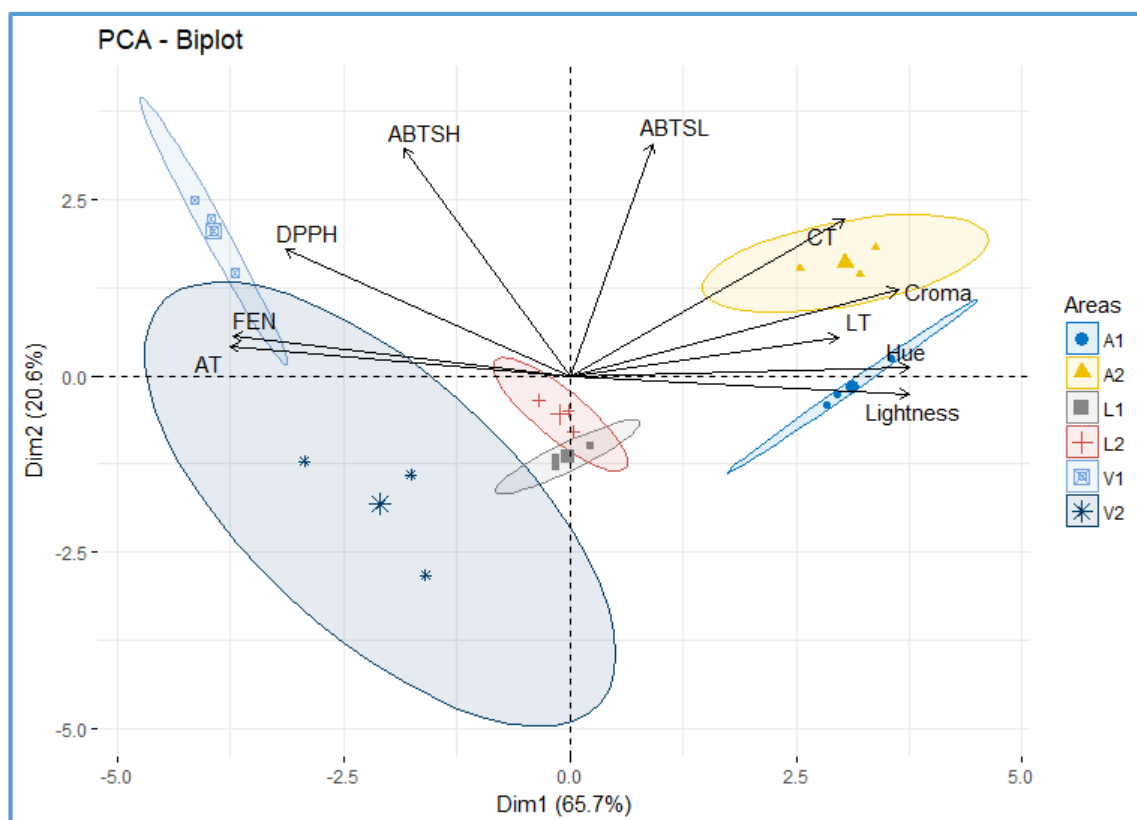


Figura 2. Representação gráfica das análises nos dois extratos e dos níveis de cor de flor e luz nas flores de capuchinha em relação aos dois componentes principais.

AT: antocianinas totais; CT: carotenoides totais; LT: luteína; FEN: fenólico totais; ABTSH: capacidade antioxidante no extrato fenólico; DPPH: capacidade antioxidante no extrato fenólico; ABTSL: capacidade antioxidante no extrato de carotenoides.

Flor amarela a céu aberto (A1), flor amarela sob sombreamento (A2), flor alaranjada a céu aberto (L1), flor alaranjada sob sombreamento (L2), flor vermelha a céu aberto (V1) e flor vermelha sob sombreamento (V2).

As análises dos compostos bioativos e os parâmetros de cor são representados como vetores. Cada abscissa e ordenada de um vetor é, respectivamente, a correlação linear entre uma análise e os componentes principais. Os teores de CT e LUT, juntamente com os parâmetros de cor luminosidade, saturação e tonalidade, apresentaram uma forte e positiva correlação com o primeiro componente, enquanto o teor de AT, FT e capacidade antioxidante (radical DPPH), apresentaram uma correlação forte e negativa. A capacidade antioxidante mensurada pelo radical ABTS (para o extrato lipossolúvel e hidrossolúvel) correlacionou fortemente e positivamente com o segundo componente (Figura 2).

As cores de flor ficaram separadas ou longe do primeiro componente principal (65,7% da variação total), apresentado AT, FT, DPPH, CT, LT, L*, C* e h* como as

variáveis de maior impacto na discriminação da cor das flores. As flores vermelhas cultivadas à céu aberto foram separadas das sombreadas, assim como as flores amarelas, em menor grau, ao longo do segundo componente (20,6%), tendo a capacidade antioxidante pela técnica ABTS como as variáveis de maior impacto na explicação dos dados. As flores alaranjadas ficaram agrupadas no centro da Figura 2, não se correlacionando positivamente e nem negativamente.

A PCA confirmou que as flores vermelhas estão relacionadas com os compostos fenólicos e as flores amarelas estão mais relacionadas com os carotenoides. Devido a mistura dos pigmentos vermelho (antocianina) e amarelo (luteína) a flor alaranjada não se relacionou com nenhum dos compostos.

CONCLUSÃO

As flores vermelhas foram as flores mais sensíveis ao efeito da radiação solar, as amarelas apresentaram sensibilidade em menor grau e as flores alaranjadas foram as que se mostraram mais adaptadas as condições do estudo. As flores vermelhas estão mais relacionadas com os compostos fenólicos e as flores amarelas com os carotenoides. O tipo de cultivo não alterou os perfis de antocianinas, flavonóis, luteína e os parâmetros de cores.

REFERÊNCIAS

- ARIAS, J. P. et al. Effect of light wavelength on cell growth, content of phenolic compounds and antioxidant activity in cell suspension cultures of *Thevetia peruviana*. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 163, p. 87–91, 2016.
- BAZYLKO, A. et al. Comparison of antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial activity and chemical composition of aqueous and hydroethanolic extracts of the herb of *Tropaeolum majus* L. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 88–94, out. 2013.
- BONDET, V.; BERSSET, C.; CHIMIE, L. DE. Kinetics and Mechanisms of Antioxidant Activity using the DPPH • Free Radical Method. v. 615, p. 609–615, 1997.

COSTA, D. et al. Photochemistry of the hemiketal form of anthocyanins and its potential role in plant protection from UV-B radiation. **Tetrahedron**, v. 71, n. 20, p. 3157–3162, 2015.

DE CASTILHOS, M. B. M. et al. Isabel red wines produced from grape pre-drying and submerged cap winemaking: A phenolic and sensory approach. **LWT - Food Science and Technology**, v. 81, p. 58–66, ago. 2017.

FERNANDES, L. et al. Edible flowers: A review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties and effects on human health. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 60, p. 38–50, 1 jul. 2017.

FULEKI, T.; FRANCIS, F. J. Quantitative Methods for Anthocyanins. 1. Extration and Determination of Total Anthocyanin in Cranberries. **Journal of Food Engineering**, v. 33, p. 72–77, 1968.

GARZÓN, G. A. et al. Identification of phenolic compounds in petals of nasturtium flowers (*Tropaeolum majus*) by high-performance liquid chromatography coupled to mass spectrometry and determination of oxygen radical absorbance capacity (ORAC). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, n. 6, p. 1803–1811, 2015.

GARZÓN, G. A.; WROLSTAD, R. E. Major anthocyanins and antioxidant activity of Nasturtium flowers (*Tropaeolum majus*). **Food Chemistry**, v. 114, n. 1, p. 44–49, maio 2009.

GIORDANO, E.; QUADRO, L. Lutein, zeaxanthin and mammalian development: Metabolism, functions and implications for health. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 647, p. 33–40, 2018.

HATIER, J. H. B.; GOULD, K. S. Foliar anthocyanins as modulators of stress signals. **Journal of Theoretical Biology**, v. 253, n. 3, p. 625–627, 2008.

HAZRATI, S. et al. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of Aloe vera L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 106, p. 141–148, 2016.

HE, J. et al. Phenolic compounds and antioxidant activities of edible flowers of *Pyrus pashia*. **Journal of Functional Foods**, v. 17, p. 371–379, ago. 2015.

IBRAHIM, P. et al. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 538–544, 2013.

JORRÍN, J.; LÓPEZ-VALBUENA, R.; TENA, M. L-Phenylalanine Ammonia-Lyase from Sunflower Hypocotyls: Modulation by Cinnamic Acids. **Journal of Plant Physiology**, v. 136, n. 4, p. 415–420, jul. 1990.

KIM, D.-O. et al. Vitamin C Equivalent Antioxidant Capacity (VCEAC) of Phenolic Phytochemicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 13, p. 3713–3717, 1 jun. 2002.

KOIKE, A. et al. Irradiation as a novel approach to improve quality of *Tropaeolum majus* L. flowers: Benefits in phenolic profiles and antioxidant activity. **Innovative Food**

Science & Emerging Technologies, v. 30, p. 138–144, 1 ago. 2015.

MLCEK, J.; ROP, O. Fresh edible flowers of ornamental plants – A new source of nutraceutical foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 10, p. 561–569, out. 2011.

NACHTIGALL, A. M.; STRINGHETA, P. C.; FIDELIS, P. C. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE LUTEÍNA. **B.CEPPA**, v. 25, p. 181–192, 2007.

NIIZU, P. Y.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flowers and Leaves of *Tropaeolum majus* L. as Rich Sources of Lutein. **Journal of Food Science**, v. 70, n. 9, p. S605–S609, 2005.

PINHEIRO SANT'ANA, H. M. et al. Carotenoid retention and vitamin A value in carrot (*Daucus carota* L.) prepared by food service. **Food Chemistry**, v. 61, n. 1–2, p. 145–151, jan. 1998.

PIRES, T. C. S. P. et al. Edible flowers as sources of phenolic compounds with bioactive potential. **Food Research International**, v. 105, p. 580–588, 1 mar. 2018.

QIAN, H. et al. Effects of light quality on main health-promoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale sprouts. **Food Chemistry**, v. 196, p. 1232–1238, abr. 2016.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9–10, p. 1231–1237, maio 1999.

RIBEIRO, W. S.; BARBOSA, J. A.; COSTA, L. C. **Capuchinha (*Tropaeolum majus* L.** Brasília: Kiron, 2012.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. et al. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, n. 6, p. 445–463, 2008.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144 LP-158, 1 jan. 1965.

TERAHARA, N. ¹H NMR SPECTRAL ANALYSIS OF THE MALYLATED FROM DIANTHUS. v. 25, n. 12, p. 2906–2907, 1986.

WU, M. et al. A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. **Food Chemistry**, v. 101, n. 4, p. 1753–1758, 2007.

ARTIGO 2

EFEITO DA IRRADIAÇÃO DE LUZ LED NA BIOSÍNTESE DE COMPOSTOS FENÓLICOS E CAROTENOIDES EM FLORES DE CAPUCHINHA (*Tropaeolum majus*).

HIGHLIGHTS

- A luz LED aumentou a síntese de antocianinas em flores vermelhas de capuchinhas;
- As luzes monocromáticas aumentaram a síntese de luteína em flores amarela de capuchinha;
- A luz LED vermelha foi eficiente para aumentar a produção efetiva de pigmentos de flores de capuchinhas;
- Houve correlação negativa entre os teores de antocianinas e luteínas de flores de capuchinhas.

RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito da suplementação da radiação ativa fotossintética proveniente das lâmpadas LED nas flores de capuchinha. As flores vermelha, alaranjadas e amarelas de capuchinhas foram submetidas a suplementação de 6 horas de luzes LED vermelha, azul e a combinação de vermelha+azul. Após o cultivo de 60 dias foram avaliados os compostos bioativos presentes nas flores com suplementação e sem suplementação. Para isso foram elaborados dois extratos: fenólico e de carotenoides. Os extratos fenólicos das flores foram quantificados quanto os teores de antocianinas totais, fenólicos totais e capacidade antioxidante e no extrato de carotenoides foram quantificados luteína e capacidade antioxidante. A luz LED aumentou a síntese de antocianinas totais nas flores vermelhas, independentemente da cor da luz. A luz LED vermelha foi a que apresentou uma maior produtividade efetiva dos pigmentos

majoritários nas flores de capuchinha, independentemente da cor das flores. As antocianinas totais dos extratos fenólicos apresentaram correlação positiva com teor de fenólicos totais bem como com a capacidade antioxidante. O teor de luteína apresentou correlação negativa com antocianinas totais e fenólicos totais e correlação positiva com a capacidade antioxidante dos extratos para carotenoides.

Palavras-chave: Flores comestíveis; compostos bioativos; diodo emissor de luz; radiação ativa fotossintética

1. INTRODUÇÃO

A qualidade fotossintética da luz influencia diretamente na velocidade de crescimento das plantas, no desenvolvimento morfológico correto, rendimento e produção de metabólitos primários e secundários (COCETTA et al., 2017). Além disso, o sombreamento ocasionado em campos abertos, tais como, países com baixa radiação solar e casas de vegetações, podem gerar uma demanda extra de radiação ativa fotossintética, e, por isso, a pesquisa com fontes artificiais de radiação fotossintética ativas vem sendo cada vez mais difundidas (BULA et al., 1991; CHOI; MOON; KANG, 2015; SEO et al., 2015; QIAN et al., 2016).

A tecnologia sobre diodos emissores de luz (LED) vêm apresentando uma evolução exponencial devido a sua eficiência energética e controle sobre os comprimentos de onda, podendo ser monocromática, dicromática ou policromática. Essa versatilidade permite o uso dos LEDs em diversos campos de atuação. Os usos mais comuns são em sistemas fechados (câmaras de crescimentos), estufas, agricultura vertical multicamada (canteiros verticais) e pós-colheita (COCETTA et al., 2017; BANTIS et al., 2018).

A luz LED é utilizada principalmente com o objetivo de melhorar o desenvolvimento e a composição química dos alimentos de origem vegetal, tais como açúcares, ácidos orgânicos solúveis, e antioxidantes (CHOI; MOON; KANG, 2015). Este último, têm ganhado maior destaque devido às evidências dos inúmeros na tecnologia de alimentos (SHAHIDI; AMBIGAIPALAN, 2015) e à saúde (HE et al., 2015). Além disso, a luz de LED pode ser utilizada no controle do florescimento obtendo, assim, dias mais longos, com economia de energia (QIAN et al., 2016) e auxiliando a foto-fermentação juntamente com probióticos (JEONG et al., 2018).

As luzes LED apresentam efeitos variados em diferentes produtos agrícolas devido a parâmetros básicos de regime de iluminação; densidade de fluxo de fótons, fotoperíodo, espectro de luz e luz pulsada *versus* luz contínua e diferentes comprimentos de onda (BERKOVICH et al., 2017; BANTIS et al., 2018b).

Dentro dos produtos agrícolas, as flores comestíveis vêm ganhando destaque como fonte de alimentação, ornamentação de saladas e compostos nutraceuticos. A capuchinha (*Tropaeolum majus*) apresenta todas as características anteriores possuindo elevada aceitação sensorial, diferentes cores e diferentes compostos bioativos em sua composição (MLCEK; ROP, 2011; BAZYLKO et al., 2013). No entanto, ainda não foi relatado o efeito das luzes LED na biossíntese de compostos bioativos dessas flores.

Objetivou-se, então, avaliar o efeito da suplementação da radiação das luzes LED azul, vermelha e azul+vermelha nas flores de capuchinhas vermelhas, alaranjadas e amarelas nos teores de antocianinas totais (ANT), fenólicos totais (FEN), luteínas (LUT) e na capacidade antioxidante destas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Reagentes Químicos

Para a obtenção dos extratos foram utilizados etanol, acetona, éter de petróleo e sulfato de sódio anidro e HCl, todos com grau de pureza analíticos (Vetec Sigma-Aldrich, Brasil). Para análise de compostos fenólicos e capacidade antioxidante foram utilizados Folin-Ciocalteu, radicais 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato) (ABTS^{•+}) e 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), carbonato de sódio, persulfato de potássio, trolox (Sigma- Aldrich, Germany) e ácido gálico (Analyticals, USA).

2.2 Condições de plantio e crescimento

O cultivo das flores foi feito no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, no setor de floricultura. As sementes de capuchinha foram semeadas em bandejas de isopor e transplantadas para vasos de 10 L, 10 dias após a semeadura, no mês de setembro de 2017. Foram selecionadas, para o transplântio mudas com 10 cm de altura.

O período de cultivo durou 60 dias após o transplântio. As flores foram colhidas ao amanhecer retirando as pétalas juntamente com os pistilos que apresentavam, segundo RIBEIRO; BARBOSA; COSTA, (2012), um estágio de desenvolvimento entre XII e XIV no qual a capuchinha apresenta maior aceitação entre os consumidores. Após a colheita as capuchinhas foram desidratadas em secador de cabine à 70°C e análises foram realizadas imediatamente após a secagem.

2.3 Diodo emissor de luz (LED)

Foram usadas as lâmpadas LED tubulares da marca Split T8[®], com potência de 22 W, temperaturas de cor 6500 K e 4000 K, para as lâmpadas azuis e vermelhas respectivamente. Também foram utilizadas lâmpadas de LED nas cores vermelha ($\lambda = 660 \text{ nm}$) com média de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) de $98 \pm 3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (n=5), azul ($\lambda = 450 \text{ nm}$) com média de DFFF de $102 \pm 2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (n=5) e azul

combinada com vermelha (azul+vermelha; 1:1) com média de DFFF de $101 \pm 2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (n=5). As lâmpadas foram dispostas aproximadamente a 1,10 m de altura em relação aos vasos. As flores foram expostas a radiação LED durante 6 h de suplementação, iniciando as 18:00 h e terminando as 00:00 h.

2.4 Delineamento experimental

O experimento foi realizado inteiramente casualizado, tanto a disposição dos vasos quanto as bancadas com ou sem as luzes foram selecionados por sorteio ao acaso, para não apresentar influência de posição.

Foram testadas flores vermelhas sem suplementação (CV), flores alaranjadas sem suplementação (CL), flores amarela sem suplementação (CA), flores vermelhas suplementada com luz LED vermelha (VV), flores alaranjadas suplementada com luz LED vermelha (VL), flores amarelas suplementada com luz LED vermelha (VA), flores vermelhas suplementada com luz LED azul (AV), flores alaranjadas suplementada com luz LED azul (AL), flores amarelas suplementada com luz LED azul (AA), flores vermelhas suplementada com luz LED azul+vermelhas (AVV), flores alaranjadas suplementada com luz LED azul+vermelhas (AVL) e flores amarelas suplementada com luz LED azul+vermelhas (AVA).

2.5 Extração dos compostos fenólicos

Os compostos fenólicos foram extraídos seguindo a metodologia de IBRAHIM et al., (2013) com modificações. Foram pesados aproximadamente 1 g de flores de capuchinha, desidratadas em secador tipo cabine com circulação de ar forçado à 70 °C, de cada tratamento, trituradas com aproximadamente 50 mL de etanol: água 70:30 (v/v), com pH ajustado para 2,0 pela adição de HCl concentrado e mantida em refrigeração (10

$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$), durante 24 h. Em seguida, o extrato foi filtrado em papel Whatman nº1. As análises foram realizadas imediatamente após a obtenção dos extratos.

2.5.1 Quantificação de antocianinas totais

As antocianinas totais presentes foram quantificadas no extrato dos compostos fenólicos de acordo com o método proposto por FULEKI; FRANCIS, (1968). Os resultados foram expressos em miligrama de cianidina-3-glicosídeo por cem gramas de flor em base seca ($\text{mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$).

2.5.2 Quantificação de fenólicos totais

A quantificação dos fenólicos totais foi realizada segundo método proposto por SINGLETON & ROSSI, (1965). Os EF foram dissolvidos em água destilada e quantificados por meio da curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em miligrama equivalente de ácido gálico (AGE) por grama de flor em base seca ($\text{mg AGE}\cdot 100\text{ g}^{-1}$).

2.6. Quantificação de carotenoides totais

A extração e determinação de Luteína (LUT) foi realizada segundo NACHTIGALL; STRINGHETA; FIDELIS, (2007). Após a obtenção do extrato de carotenoides, extrato de carotenoides (EC), o solvente foi evaporado em evaporador rotativo a vácuo e os pigmentos foram recuperados em etanol absoluto PA. Os teores de carotenoides totais foram expressos em microgramas de luteína por cem gramas de flor em base seca ($\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$).

2.7 Capacidade antioxidante

Para a determinação da capacidade antioxidante pelo método de equivalente de trolox, foram utilizados os extratos EF e EC seguindo a metodologia de RE et al., (1999) utilizando o radical ABTS^{•+}. Para a técnica do radical DPPH seguiu a metodologia de KIM et al., (2002). Foram utilizados o Trolox como padrão e os resultados foram expressos em micromol equivalente de Trolox por grama de flor em base seca ($\mu\text{mol Tx}\cdot\text{g}^{-1}$).

2.8 Produtividade efetiva

Foi realizado o cálculo da produtividade efetiva para investigar a quantidade real de compostos produzidos por planta. Foi determinado a produtividade efetiva de antocianinas totais (PEA), produtividade efetiva de fenólicos totais (PEF) e produtividade efetiva de luteína (PEL) calculadas pelas equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$PEA = \frac{ANT * MASSA}{100} \quad (1)$$

$$PEF = \frac{FEN * MASSA}{100} \quad (2)$$

$$PEL = \frac{LUT * MASSA}{100} \quad (3)$$

Em que ANT é o teor de antocianinas totais, FEN é o teor de fenólicos totais, LUT é o teor de luteína e MASSA é a massa seca de flor produzida pela planta.

2.9 Análise Estatística

Os dados foram expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=3) e submetidos à análise de variância, teste de média de Newman-Keuls e correlação de Pearson. As análises foram realizadas utilizando software SAS, versão 9.3 (Statistical Analysis System – SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), licenciado para Universidade Federal de Viçosa e R

(software livre). Os resultados foram expressos em média $\pm$ desvio padrão. A significância estatística foi fixada em $p<0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção de massa seca

A flor alaranjada sem suplementação foi a que produziu maior quantidade de massa seca (Tabela 1; $p<0,05$). As flores suplementadas com luz LED azul apresentaram menores valores de matéria seca de flor. A luz LED vermelha apresentou efeito igual à combinação azul+vermelha e superior a luz azul. Existem duas explicações para uma maior produção quando utilizada a luz LED vermelha: a) a primeira se deve às curvas de McCree que indicam que os comprimentos de ondas vermelhos (600 a 700 nm) apresentam maior absorção nos pigmentos vegetais. b) como segunda hipótese, a luz emitida pelo LED vermelho apresenta o comprimento de onda de 660 nm, valor próximo ao pico de absorção máxima da clorofila, saturando o fitocromo e criando um estado de “*photostationary*” na ausência do vermelho distante ou do escuro (MASSA et al., 2010).

Tabela 1. Médias e desvios padrões dos compostos fenólicos, carotenoides e capacidade antioxidantes das capuchinhas vermelhas, alaranjadas, amarelas

	MASSA (g)	ANT (mg·100 g ⁻¹)	LUT (mg·100 g ⁻¹)	FEN (mg AGE·100g ⁻¹)	ABTSF (μmol tx·g ⁻¹)	DPPHF (μmol tx·g ⁻¹)	ABTSL (μmol tx·g ⁻¹)	DPPHL (μmol tx·g ⁻¹)
CV	2,81±0,11 ^b	474,09±84,45 ^b	1177,92±28,05 ^c	3193,49±915,77 ^b	49,35±14,48 ^{bc}	26,08±5,16 ^b	12,99±4,62 ^c	13,21±0,95 ^d
AV	1,20±0,29 ^c	764,99±187,26 ^a	989,22±122,52 ^c	2724,08±723,58 ^a	50,42±14,83 ^{bc}	54,57±11,29 ^a	15,31±4,04 ^c	16,18±4,02 ^{cd}
VV	2,48±0,62 ^{bc}	694,47±111,43 ^a	262,02±62,90 ^c	4059,90±1190,66 ^a	95,32±24,63 ^a	51,21±1,66 ^a	12,87±2,77 ^c	12,44±2,45 ^d
AVV	2,49±0,45 ^{bc}	694,45±61,85 ^a	1155,51±135,44 ^c	2445,05±1327,14 ^a	69,26±13,55 ^b	44,48±8,85 ^a	15,73±3,66 ^c	25,66±0,57 ^{bc}
CL	4,13±0,29 ^a	240,56±96,23 ^c	1310,72±141,62 ^c	2112,35±64,39 ^{bc}	30,56±1,15 ^{bc}	12,48±1,24 ^c	9,58±0,83 ^c	8,23±2,56 ^d
AL	1,23±0,94 ^c	165,26±46,89 ^{cd}	1438,52±88,35 ^c	946,76±385,30 ^c	23,53±3,92 ^c	17,53±3,04 ^{bc}	12,53±3,14 ^c	10,56±4,95 ^d
VL	2,51±0,67 ^{bc}	171,83±27,70 ^{cd}	1239,04±264,44 ^c	2013,66±65,79 ^{bc}	35,07±10,06 ^{bc}	11,75±3,73 ^c	19,18±4,08 ^c	11,40±3,62 ^d
AVL	2,49±0,57 ^{bc}	199,52±33,46 ^{cd}	1312,69±121,66 ^c	1168±164,13 ^c	21,39±1,56 ^c	22,23±3,10 ^{bc}	13,85±0,51 ^c	17,73±7,66 ^{cd}
CA	2,75±0,10 ^b	27,51±6,20 ^d	8815,65±231,16 ^b	1543,85±380,08 ^c	21,45±9,66 ^c	11,79±4,21 ^c	12,80±5,71 ^c	14,33±0,07 ^{cd}
AA	1,23±0,21 ^c	23,23±8,48 ^d	13109,27±115,92 ^a	1311,93±385,61 ^c	39,70±19,68 ^{bc}	24,83±3,81 ^{bc}	36,74±14,28 ^{ab}	38,55±1,02 ^a
VA	2,47±0,19 ^{bc}	31,14±9,44 ^d	12209,05±3608,23 ^a	2042,36±666,04 ^{bc}	32,87±1,14 ^{bc}	17,56±1,97 ^{bc}	41,97±8,89 ^a	33,12±11,42 ^{ab}
AVA	2,00±0,70 ^{bc}	85,64±21,07 ^{cd}	9252,06±1241,55 ^b	1597,42±781,04 ^c	41,80±28,30 ^{bc}	21,87±3,54 ^{bc}	26,86±12,68 ^{bc}	19,52±4,29 ^{cd}

Médias (n = 3) seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Newman-Keuls, 5%.

ANT: antocianinas totais; LUT: luteína; FEN: fenólico totais; ABTSF: capacidade antioxidante ABTS no extrato fenólico; DPPHF: capacidade antioxidante DPPH no extrato fenólico; ABTSC: capacidade antioxidante ABTS no extrato de carotenoides; DPPHF: capacidade antioxidante DPPH no extrato de carotenoides.

CV: controle das flores vermelhas; AV: luz azul com flores vermelhas; VV: luz vermelha com flores vermelhas; AVV: luz azul e vermelha com flores vermelhas; CL: controle das flores alaranjadas; AL: luz azul com flores alaranjadas; VL: luz vermelha com flores alaranjadas; AVL: luz azul e vermelha com flores alaranjadas; CA: controle das flores amarelas; AA: luz azul com flores amarelas; VA: luz vermelha com flores amarelas; AVA: luz azul e vermelha com flores amarelas.

3.2. Antocianinas totais e fenólicos totais

As flores vermelhas suplementadas pelas luzes LED azul, vermelha e azul+vermelha apresentaram maiores teores de antocianinas totais (Tabela 1; $p < 0,05$), seguido pelas flores vermelhas sem a suplementação. As flores vermelhas suplementadas apresentaram médias até 60% superior em relação as não suplementadas. A luz LED azul, vermelha e a combinação azul+vermelha podem promover alterações benéficas em tecido vegetal. A da luz LED azul ($\lambda = 400$ a 500 nm) apresenta uma influência fotomorfogênica em plantas incluindo controle dos estômatos, que afeta as relações de troca de água e CO_2 e alongamento de caule (WU et al., 2007). Tal influência fotomorfogênica pode ser maximizada com a combinação de luz LED vermelha de alta potência, a qual é utilizada para um crescimento da planta. Entretanto, a utilização de valores acima de $100 \text{ mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ pode não ocasionar o desenvolvimento da clorofila, mas em valores menores ou uma suplementação de $30 \text{ mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ de luz LED azul, pode restaurar a síntese da clorofila (MASSA et al., 2010).

ZHANG et al., (2018) investigaram o efeito das luzes LED vermelha, azul e combinação azul+vermelha (1:1) no amadurecimento de morangos e constatou que as luzes independentemente da cor induziram a coloração do fruto de morango mais cedo, aumentando o teor de antocianinas totais como resultado da alta expressão de genes relacionados. Além disso, a combinação azul+vermelho foi que apresentou maior média significativa no aumento da biossíntese de antocianinas. KONDO et al., (2014) obtiveram uma maior biossíntese de antocianinas totais quando utilizou luz LED azul em casca de uva.

Os fenólicos totais seguiram a mesma tendência das antocianinas totais, apresentando as flores vermelhas suplementadas pelas luzes LED com maiores teores ($p < 0,05$). Tal comportamento já era esperado, pois as antocianinas fazem parte do grupo

fenólicos e dividem rotas metabólicas semelhantes (TERAHARA; YAMAGUCHI, 1986).

LIU et al., (2016) verificaram aumento da síntese de fenólico totais em brotos de ervilhas submetidas a luz LED vermelha e azul, sendo a luz azul que promoveu maior aumento. Já DUTTA GUPTA; KARMAKAR, (2017) observaram a combinação azul+vermelho (1:1) como fonte de luz mais promissora para *Swertia chirata*. A maioria dos estudos relacionado relatam a luz LED azul monocromática ou combinada com a vermelha aumentando a biossíntese de antocianinas e fenólico totais, porém, períodos longos a exposição sobre esses comprimentos de ondas pode ocasionar mudanças morfológicas e fisiológica (ZHENG; VAN LABEKE, 2017). Portanto, cada planta pode reagir de forma diferente a exposição as luzes LED.

3.3. Teor de luteína

A luteína é o único carotenoide presente na flor de capuchinha (NIIZU; RODRIGUEZ-AMAYA, 2005), sendo assim, os teores de luteína foram determinados pelo método espectrofotométrico devido a rapidez e menor custo. As flores amarelas suplementadas pelas luzes LED azuis e vermelhas apresentaram maior teor de pigmento, seguidas pelas flores amarelas suplementadas com a combinação azul+vermelho e sem suplementação (Tabela 1). As demais flores apresentaram menor teores de luteína e não diferiram significativamente ($p>0,05$). MA et al., (2014) atribuíram a irradiação de luz LED vermelha o aumento da atividade catalítica da lycopene ϵ -cyclase (LCYe), enzima importante na rota metabólica de produção de luteína.

3.5. Capacidade Antioxidante

Os extratos fenólicos e de carotenoides apresentaram valores de capacidade antioxidante diferente para os diferentes tipos de cor de flor. O extrato fenólico das flores

vermelhas apresentou os maiores valores de capacidade antioxidante. Para o método ABTS, a flor vermelha suplementada com a luz LED vermelha apresentou a maior capacidade antioxidante ($95,32 \pm 24,63 \mu\text{mol tx} \cdot \text{g}^{-1}$). Já para o radical DPPH o perfil foi semelhante as antocianinas totais, tendo as flores vermelhas suplementadas com as luzes LED, independente da cor, como os maiores valores de capacidade antioxidantes.

O extrato de carotenoides apresentou maior capacidade antioxidante de flores amarelas suplementadas com luzes LED azul e vermelha com os maiores valores de capacidade antioxidante tanto para extratos avaliados por ABTS e DPPH, seguindo um perfil similar aos teores de luteína.

As flores de capuchinhas são ricas em diversas substancias com capacidade antioxidante comprovadas *in vitro*, tais substâncias apresentam afinidades maiores em diferentes solventes. Portanto, a escolha do solvente de extração impacta nos valores das capacidades antioxidantes nas diferentes flores de capuchinhas. Um estudo que ponderasse o efeito de compostos hidrossolúveis (antocianinas e fenólicos) e lipossolúveis (carotenoides), por meio de uma nova metodologia ou equação matemática para aproximação real da capacidade antioxidante de alimentos ricos em diferentes compostos, como a capuchinha, se faz necessário em pesquisas futuras.

3.6 Produção efetiva

Foi realizado o cálculo de produtividade efetiva para investigar a relação entre a produção dos compostos fenólicos e carotenoides. As flores vermelhas suplementadas pelas luzes vermelhas e azul+vermelho apresentaram maiores PEA (Tabela 2), seguidos pelas flores vermelhas sem suplementação, as flores vermelhas suplementadas pela luz azul juntamente com as flores alaranjadas sem suplementação; as demais flores não diferiram entre si. Menores valores de PEF foram observados em flores suplementadas

com luz LED azul e maiores com luz LED vermelha, independentemente da cor das flores.

A maior PEL foi das flores amarelas suplementada pela luz LED vermelha, seguida pelas flores amarelas sem suplementação e flores amarelas suplementadas pela luz LED azul juntamente com a combinação azul+vermelha. As demais flores não diferiram entre si ($p>0,05$).

Tabela 2. Produção efetiva de antocianinas (PEA), Luteína (PEL) e fenólicos totais (PEF) de flores de capuchinhas suplementadas com luz LED e sem suplementação

	PEA (mg)	PEF (mg AGE)	PEL (mg)
CV	13,39±2,80 ^b	90,48±29,06 ^a	32,83±0,52 ^d
AV	9,70±2,57 ^c	34,41±8,75 ^{cd}	12,53±1,88 ^d
VV	16,89±1,00 ^a	80,10±14,92 ^{ab}	6,49±1,87 ^d
AVV	18,96±1,01 ^a	67,64±39,04 ^{abc}	31,58±3,34 ^d
CL	9,95±4,17 ^c	87,43±8,14 ^a	54,38±8,69 ^d
AL	2,04±0,61 ^d	11,64±4,75 ^d	17,68±0,94 ^d
VL	4,30±1,25 ^d	50,61±13,69 ^{abcd}	32,09±15,11 ^d
AVL	4,80±1,37 ^d	27,41±0,61 ^{cd}	31,37±6,55 ^d
CA	0,75±0,15 ^d	42,76±11,89 ^{bcd}	242,92±14,90 ^b
AA	0,30±0,13 ^d	16,56±5,29 ^d	164,93±16,80 ^c
VA	0,75±0,19 ^d	50,94±19,42 ^{abcd}	299,70±83,06 ^a
AVA	1,76±0,42 ^d	32,69±15,78 ^{cd}	190,40±28,61 ^c

Médias (n = 3) seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Newman-Keuls, 5%.

CV: controle das flores vermelhas; AV: luz azul com flores vermelhas; VV: luz vermelha com flores vermelhas; AVV: luz azul e vermelha com flores vermelhas; CL: controle das flores alaranjadas; AL: luz azul com flores alaranjadas; VL: luz vermelha com flores alaranjadas; AVL: luz azul e vermelha com flores alaranjadas; CA: controle das flores amarelas; AA: luz azul com flores vermelhas; VA: luz vermelha com flores amarelas; AVA: luz azul e vermelha com flores amarelas.

A luz LED vermelha, além de aumentar a síntese dos compostos bioativos (antocianinas totais, fenólicos totais e luteínas) por grama de flor, também promoveu um aumento na produção de matéria seca de flor; apresentando como melhor alternativa ao produtor tanto para produção de flor quanto para a qualidade nutricional. A luz LED azul

apresentou menor efeito na produção efetiva das flores de capuchinha, independentemente da cor o que está de acordo com ZHENG; VAN LABEKE, (2017) que observaram uma diminuição em pigmentos fotossintéticos em folhas do tomateiro submetido a luz LED azul e púrpura.

3.7. Análise de correlação

A produção de massa não apresentou correlação significativa com as demais variáveis conforme a Figura 1. As antocianinas totais por ser um flavonoide do grupo dos fenólicos, potentes antioxidantes, apresentaram correlação positiva e significativa ($p < 0,05$) com fenólicos totais, e ABTS, DPPH (extrato fenólicos). Além disso, apresentou correlação negativa e significativa com luteína e correlação negativa e significativa com ABTS (extrato de carotenoides) indicando flores com elevado teor de antocianinas tendem a apresentar menores valores de luteína, assim como maiores valores de luteína apresentam menores valores de antocianinas.

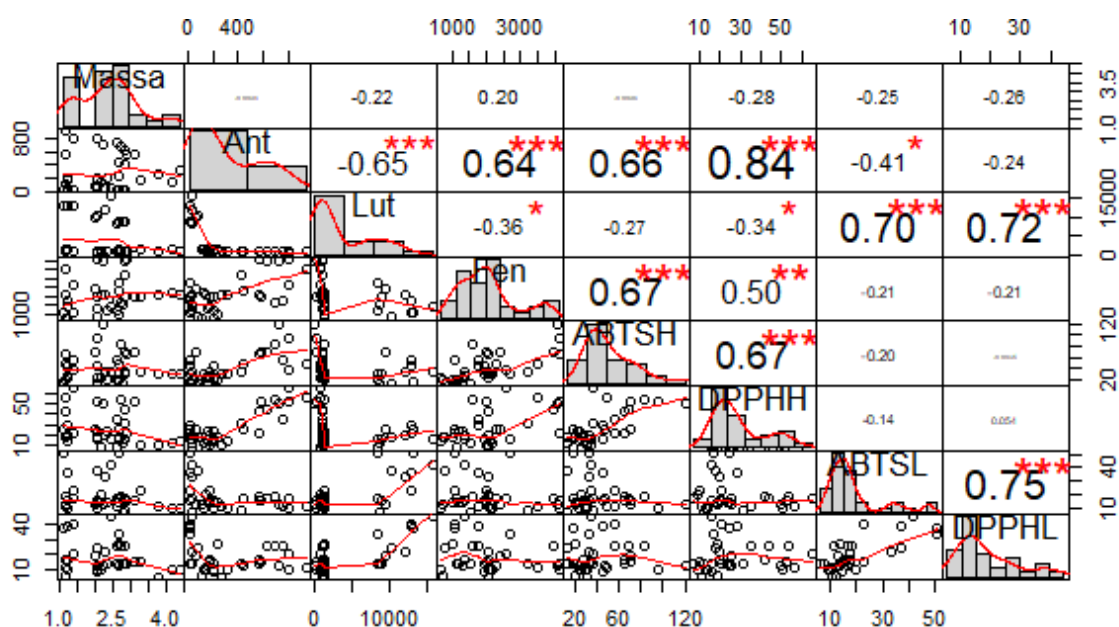


Figura 1. Análise de correlação entre massa seca produzida, antocianinas totais, luteína, fenólicos totais, capacidade antioxidante para os extratos fenólicos e extratos de carotenoides. ANT: antocianinas totais; LUT: luteína; FEN: fenólicos totais; ABTSH: capacidade antioxidante ABTS no extrato fenólico; DPPHH: capacidade antioxidante DPPH no extrato fenólico; ABTSL: capacidade antioxidante ABTS no extrato de carotenoides; DPPHL: capacidade antioxidante DPPH no extrato de carotenoides.

A luteína apresentou correlação significativa e positiva com ABTS e DPPH (extrato de carotenoides), isso indica que para a análises de capacidade antioxidante a forma de extração influência diretamente nos resultados, pois os extratos fenólicos apresentaram valores de capacidade antioxidantes maiores para a flores vermelhas e os extratos de carotenoides para as flores amarelas (Tabela 1).

Os fenólicos totais apresentaram, assim como a antocianinas correlação positiva e significativa com ABTS e DPPH (extratos fenólicos). Os Métodos ABTS e DPPH (extratos fenólicos) apresentaram correlação forte, positiva e significativa, assim como ABTS e DPPH (extrato de carotenoides) mostrando que qualquer um dos métodos pode ser utilizado para determinar a capacidade antioxidante em flores de capuchinha, seja para extrato fenólico, seja para extrato de carotenoides.

4. CONCLUSÃO

As flores vermelhas apresentaram maior estímulo a produção de antocianinas totais quando expostas a radiação das luzes LED independentemente da cor dos diodos. Já as flores amarelas suplementadas pelas luzes vermelhas e azuis apresentaram maior teor de luteína. Entretanto, a luz LED vermelha apresentou maior efeito na produção efetiva de antocianinas totais e luteínas, independentemente da cor das flores, sendo assim, a que apresentou melhor resposta para flores de capuchinhas. O aumento da síntese de antocianinas totais ocasiona em decréscimo na síntese de luteína indicados pela correlação negativa.

REFERÊNCIA

BANTIS, F. et al. *Scientia Horticulturae* Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). **Scientia Horticulturae**, v. 235, n. March, p. 437–451, 2018a.

BANTIS, F. et al. Scientia Horticulturae Light emitting diodes (LEDs) a ff ect morphological , physiological and phytochemical characteristics of pomegranate seedlings. **Scientia Horticulturae**, v. 234, n. April 2017, p. 267–274, 2018b.

BAZYLKO, A. et al. Comparison of antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial activity and chemical composition of aqueous and hydroethanolic extracts of the herb of *Tropaeolum majus* L. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 88–94, out. 2013.

BERKOVICH, Y. A. et al. REACH - Reviews in Human Space Exploration LED crop illumination inside space greenhouses. **REACH - Reviews in Human Space Exploration**, v. 6, p. 11–24, 2017.

BULA, R. J. et al. Light-emitting diodes as a radiation source for plants. **HortScience**, v. 26, n. 2, p. 203–205, 1991.

CHOI, H. G.; MOON, B. Y.; KANG, N. J. Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. **Scientia Horticulturae**, v. 189, p. 22–31, jun. 2015.

COCETTA, G. et al. Light use efficiency for vegetables production in protected and indoor environments. 2017.

DUTTA GUPTA, S.; KARMAKAR, A. Machine vision based evaluation of impact of light emitting diodes (LEDs) on shoot regeneration and the effect of spectral quality on phenolic content and antioxidant capacity in *Swertia chirata*. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 174, p. 162–172, 1 set. 2017.

FULEKI, T.; FRANCIS, F. J. Quantitative Methods for Anthocyanins. 1. Extration and Determination of Total Anthocyanin in Cranberries. **Journal of Food Engineering**, v. 33, p. 72–77, 1968.

HE, J. et al. Phenolic compounds and antioxidant activities of edible flowers of *Pyrus pashia*. **Journal of Functional Foods**, v. 17, p. 371–379, ago. 2015.

IBRAHIM, P. et al. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 538–544, 2013.

JEONG, S.-Y. et al. Photobiological (LED light)-mediated fermentation of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit with probiotic bacteria to yield bioactive compounds. **LWT**, v. 93, p. 158–166, 1 jul. 2018.

KIM, D.-O. et al. Vitamin C Equivalent Antioxidant Capacity (VCEAC) of Phenolic Phytochemicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 13, p. 3713–3717, 1 jun. 2002.

KONDO, S. et al. Absciscic acid metabolism and anthocyanin synthesis in grape skin are affected by light emitting diode (LED) irradiation at night. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 10, p. 823–829, 15 jun. 2014.

LIU, H. et al. The influence of light-emitting diodes on the phenolic compounds and antioxidant activities in pea sprouts. **Journal of Functional Foods**, v. 25, p. 459–465, 1 ago. 2016.

MA, G. et al. Effect of red and blue LED light irradiation on ascorbate content and expression of genes related to ascorbate metabolism in postharvest broccoli. **Postharvest Biology and Technology**, v. 94, p. 97–103, ago. 2014.

MASSA, G. D. et al. Plant Productivity in Response to LED Lighting. v. 43, n. 7, p. 1951–1956, 2010.

MLCEK, J.; ROP, O. Fresh edible flowers of ornamental plants – A new source of nutraceutical foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 10, p. 561–569, out. 2011.

NACHTIGALL, A. M.; STRINGHETA, P. C.; FIDELIS, P. C. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE LUTEÍNA. **B.CEPPA**, v. 25, p. 181–192, 2007.

NIIZU, P. Y.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flowers and Leaves of *Tropaeolum majus* L. as Rich Sources of Lutein. **Journal of Food Science**, v. 70, n. 9, p. S605–S609, 2005.

QIAN, H. et al. Effects of light quality on main health-promoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale sprouts. **Food Chemistry**, v. 196, p. 1232–1238, abr. 2016.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9–10, p. 1231–1237, maio 1999.

RIBEIRO, W. S.; BARBOSA, J. A.; COSTA, L. C. **Capuchinha (*Tropaeolum majus* L.** Brasília: Kiron, 2012.

SEO, J.-M. et al. Phenylalanine and LED lights enhance phenolic compound production in Tartary buckwheat sprouts. **Food chemistry**, v. 177, p. 204–13, 15 jun. 2015.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 820–897, jul. 2015.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144 LP-158, 1 jan. 1965.

TERAHARA, N.; YAMAGUCHI, M.-A. ¹H NMR spectral analysis of the methylated anthocyanins from *Dianthus*. **Phytochemistry**, v. 25, n. 12, p. 2906–2907, jan. 1986.

WU, M. et al. A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. **Food Chemistry**, v. 101, n. 4, p. 1753–1758, 2007.

ZHANG, Y. et al. Characterization of anthocyanin and proanthocyanidin biosynthesis in two strawberry genotypes during fruit development in response to different light qualities. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, 29 jul. 2018.

ZHENG, L.; VAN LABEKE, M.-C. Long-Term Effects of Red- and Blue-Light Emitting Diodes on Leaf Anatomy and Photosynthetic Efficiency of Three Ornamental Pot Plants **Frontiers in Plant Science**, 2017. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2017.00917>>

ARTIGO 3

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CULTIVO DE CAPUCHINHAS (*Tropaeolum majus* L.) SUPLEMENTADAS COM IRRADIAÇÃO DE LUZ LED NO TEOR DE COMPOSTOS FENOLICOS, CAROTENOIDES E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

HIGHLIGHTS

- A luz LED azul aumentou o teor de antocianinas totais nas flores vermelhas e alaranjadas
- Os diodos não apresentaram influência nos teores de luteína das flores vermelhas e alaranjadas
- Foi avaliado a capacidade antioxidante para o extrato hidrossolúvel e lipossolúvel

RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito da suplementação da radiação ativa fotossintética proveniente das lâmpadas LED nas flores de capuchinha avaliando os teores de compostos bioativos. As plantas de capuchinhas foram suplementadas com luz LED durante 105 dias, 6 horas por dia. Foi quantificado os teores de antocianinas totais, fenólicos totais, luteína e capacidade antioxidante ao 75, 90 e 105 dias de cultivo. A luz LED azul aumentou a biossíntese de antocianinas totais nas flores vermelhas e alaranjadas, entretanto as luzes LED não influenciaram na biossíntese de luteína. Os teores de antocianinas totais, luteína, e capacidade antioxidante no extrato fenólico no radical ABTS e no extrato de carotenoides DPPH foram as variáveis de maior impacto

para a descriminalização das flores de capuchinha suplementadas ou sem suplementação ao longo do tempo de cultivo.

Palavras-chave: Flores comestíveis; compostos bioativos; diodo emissor de luz; radiação ativa fotossintética

1. INTRODUÇÃO

As flores comestíveis vêm apresentando um crescimento de uso na gastronomia por ser um alimento saboroso, esteticamente apreciável e com valores nutricionais desejáveis. Dentro do universo das flores comestíveis, destaca-se o *Tropaeolum majus* L., que é uma planta tropeolácea conhecida popularmente pelos nomes agrião-do-méxico, chagas, colearia-dos-jardins, flor-de-chagas, flor-de-sangue, mastruço, nastúrcio e, principalmente capuchinha (RIBEIRO; BARBOSA; COSTA, 2012). Com flores de coloração avermelhada, alaranjada e amarelada, com predominância fenotípica laranja, a capuchinha possui compostos bioativos com importantes benefícios para a saúde dos seus consumidores (GARZÓN; WROLSTAD, 2009; GARZÓN et al., 2015; KOIKE et al., 2015).

Dentre os fitoquímicos presentes nas flores de capuchinha estão os compostos com enxofre (glucotropaeolina), flavonóis (quercetina, kaempferol e mircetina), antocianinas (delfinidina, cianidina e pelargonidina), carotenoides (luteína, zeaxantina e β -caroteno), ácidos fenólicos (ácido clorogênico) e a vitamina C (RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008; BAZYLKO et al., 2013; GARZÓN et al., 2015).

Os diodos emissores de luz (LED) vêm emergindo com uma evolução exponencial, devido a sua eficiência energética e controle sobre os comprimentos de onda, podendo ser monocromática, dicromática ou policromática. Essa versatilidade

permite o uso dos LEDs em diversos campos de atuação. Os usos mais comuns são em sistemas fechados (câmaras de crescimentos), estufas, agricultura vertical multicamada (canteiros verticais) e pós-colheita (COCETTA et al., 2017; BANTIS et al., 2018).

A luz LED é utilizada principalmente com o objetivo de melhorar o desenvolvimento e a composição química dos alimentos de origem vegetal, tais como açúcares, ácidos orgânicos solúveis, e antioxidantes (CHOI; MOON; KANG, 2015). Este último, têm ganhado maior destaque devido às evidências dos inúmeros benefícios aos alimentos e bebidas (SHAHIDI; AMBIGAIPALAN, 2015) e à saúde (HE et al., 2015). Além disso, a luz de LED pode ser utilizada no controle do florescimento obtendo, assim, dias mais longos, com economia de energia (QIAN et al., 2016) e auxiliam a fotofermentação juntamente com probióticos (JEONG et al., 2018).

As luzes LED apresentam efeitos variados em diferentes produtos agrícolas, devido a parâmetros básicos de regime de iluminação; densidade de fluxo de fótons, fotoperíodo, espectro de luz e luz pulsada *versus* luz contínua e diferentes comprimentos de onda (BERKOVICH et al., 2017; BANTIS et al., 2018b).

Nesse sentido, um estudo que avalie a influência de diferentes cores de luz LED durante o tempo de cultivo, na biossíntese desses compostos, em flores de capuchinha, se torna extremamente necessário. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da intensidade da radiação proveniente de LED para as diferentes cores de flor de capuchinha na susceptibilidade de produção de compostos bioativos bem como a capacidade antioxidante ao longo do tempo de cultivo.

2.MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Reagentes Químicos

Para a obtenção dos extratos foram utilizados etanol, acetona, éter de petróleo e sulfato de sódio anidro e HCl, todos com grau de pureza analíticos (Vetec Sigma-Aldrich, Brasil). Para análise de compostos fenólicos e capacidade antioxidante foram utilizados Folin-Ciocalteu, radicais 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato) (ABTS^{•+}) e 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), carbonato de sódio, persulfato de potássio, trolox (Sigma- Aldrich, Germany) e ácido gálico (Analyticals, USA).

2.2 Condições de plantio, crescimento e colheita

O cultivo das flores de capuchinha foi feito no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, no setor de floricultura. As sementes de capuchinha foram semeadas em bandejas de isopor e transplantadas para vasos de 10 L após 10 dias, em setembro de 2017. Foram selecionadas as mudas que obtiveram desenvolvimento de aproximadamente 10 cm de altura.

Foram testadas flores vermelhas sem suplementação (CV), flores alaranjadas sem suplementação (CL), flores amarela sem suplementação (CA), flores vermelhas suplementada com luz LED vermelha (VV), flores alaranjadas suplementada com luz LED vermelha (VL), flores amarelas suplementada com luz LED vermelha (VA), flores vermelhas suplementada com luz LED azul (AV), flores alaranjadas suplementada com luz LED azul (AL), flores amarelas suplementada com luz LED azul (AA), flores vermelhas suplementada com luz LED azul+vermelhas (AVV), flores alaranjadas suplementada com luz LED azul+vermelhas (AVL) e flores amarelas suplementada com luz LED azul+vermelhas (AVA).

O período de cultivo durou 105 dias após o transplantio. As flores foram colhidas com 75, 90 e 105 dias, ao amanhecer, retirando as pétalas juntamente com os pistilos e, segundo RIBEIRO; BARBOSA; COSTA, (2012), em estágio de desenvolvimento entre XII e XIV no qual a capuchinha apresenta maior aceitação entre os consumidores. Após

a colheita as capuchinhas foram desidratadas em secador de cabine à 70°C e análises foram realizadas imediatamente após a secagem.

2.3 Diodo emissor de luz (LED)

Foram utilizadas lâmpadas LED tubulares da marca Split T8®, com potência de 22 W, temperaturas de cor 6500 K e 4000 K, para as lâmpadas azuis e vermelhas respectivamente. Também foram utilizadas lâmpadas de LED nas cores vermelha ($\lambda \approx 660$ nm) com média de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) de $99 \pm 2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (n=5), azul ($\lambda \approx 450$ nm) com média de DFFF de $101 \pm 1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (n=5) e azul combinada com vermelha (azul+vermelha; 1:1) com média de DFFF de $101 \pm 2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (n=5). As lâmpadas foram dispostas aproximadamente a 1,10 m de altura em relação aos vasos.

2.4 Composto fenólicos

Os compostos fenólicos foram extraídos, obtendo o extrato fenólico, seguindo a metodologia de IBRAHIM et al., (2013) com modificações. Foram pesados aproximadamente 1 g de flores de capuchinha desidratadas em secador tipo cabine com circulação de ar forçado à 70 °C de cada tratamento trituradas com aproximadamente 50 mL de etanol: água 70:30 (v/v), com pH ajustado para 2,0 pela adição de HCl concentrado e mantida em refrigeração (10 ± 2 °C), durante 24 h. Em seguida, o extrato foi filtrado em papel Whatman nº4. As análises foram realizadas em seguida.

2.4.1 Quantificação de antocianinas totais

As antocianinas totais (AT) presentes nos EF foram quantificadas de acordo com o método proposto por FULEKI; FRANCIS, (1968). Os resultados foram expressos em miligrama de antocianinas por cem gramas de flor em base seca ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

2.4.2 Quantificação de fenólicos totais

A quantificação dos fenólicos totais (FEN) foi realizada segundo método proposto por SINGLETON & ROSSI, (1965). Os EF foram dissolvidos em água destilada e quantificados por meio da curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em miligrama equivalente de ácido gálico (AGE) por grama de flor em base seca ($\text{mg AGE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

2.5. Quantificação de carotenoides totais

A extração e determinação de luteína (LUT) foi determinada pela obtenção do extrato de carotenoides (EC) segundo NACHTIGALL; STRINGHETA; FIDELIS, (2007). Após a extração dos carotenoides o solvente (acetona) foi evaporado por evaporador rotativo a vácuo e os pigmentos foram recuperados em etanol absoluto PA. Os teores de carotenoides totais foram expressos em microgramas de luteína por cem gramas de flor em base seca ($\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

2.6 Capacidade antioxidante

Para a determinação da capacidade antioxidante em equivalente de trolox, foram utilizados os extratos dos compostos fenólico e de carotenoides seguindo a metodologia de RE et al., (1999) para a técnica do radical ABTS^{•+}. Para a técnica do radical DPPH seguiu a metodologia de KIM et al., (2002). Foram utilizados o Trolox como padrão e os

resultados foram expressos em micromol equivalente de Trolox por grama de flor em base seca ($\mu\text{mol Tx}\cdot\text{g}^{-1}$).

2.7 Análise Estatística

Os dados foram expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=3) foram submetidos à análise de variância, teste de média de Newman-Keuls e análises de componente principal, será considerado correlação forte e muito forte valores entre 0,7 e 0,9 e 0,9 - 1,0, respectivamente (MUKAKA, 2012). As análises foram realizadas utilizando software SAS, versão 9.3 (Statistical Analysis System – SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) e Statistica 7 licenciados para Universidade Federal de Viçosa e R (software livre). Os resultados foram expressos em média $\pm$ desvio padrão. A significância estatística foi fixada em $p<0,05$.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

O comportamento das variáveis MASSA, ANT, FEN, LUT, capacidade antioxidante para o extrato fenólicos ABTSF, DPPHF e no extrato de carotenoides ABTSC E DPPHC ao longo do tempo foram plotados na Figura 1 e seus respectivos valores foram comparados pelo teste de média de Newman-Keuls (Tabela 1). Os altos valores dos desvios padrões pode ser explicado pela diferente resposta das plantas as condições ambientais como absorção de nutrientes, resposta a diferentes temperaturas da casa de vegetação.

Tabela 1. Médias e desvios padrões dos compostos fenólicos, carotenoides e capacidade antioxidantes das capuchinhas vermelhas, alaranjadas, amarelas

TRAT	Dias	MASSA (g)	ANT (mg·100 g ⁻¹)	LUT (mg·100 g ⁻¹)	FEN (mg AGE·100g ⁻¹)	ABTSF (μmol tx·g ⁻¹)	DPPHF (μmol tx·g ⁻¹)	ABTSL (μmol tx·g ⁻¹)	DPPHL (μmol tx·g ⁻¹)
CV	75	4,89±3,45 ^{abc}	258,51±86,90 ^e	4536,17±104,29 ^a	1338,81±408,81 ^f	30,14±12,92 ^{efgh}	18,02±1,58 ^{hijk}	26,85±9,00 ^{bc}	9,74±1,74 ^{cdefg}
	90	1,83±1,02 ^{bcde}	370,53±35,86 ^{cd}	1753,99±537,89 ^{efgh}	888,47±80,74 ^f	107,61±1,45 ^{bc}	62,40±7,63 ^{cdefg}	11,34±7,93 ^{bc}	6,34±2,37 ^{defg}
	105	2,12±0,78 ^{bcde}	154,96±22,63 ^{fg}	2767,01±973,29 ^{bcde}	949,01±24,45 ^f	41,17±27,72 ^{defgh}	16,93±8,95 ^{ijk}	5,64±2,77 ^c	1,10±0,33 ^g
AV	75	2,10±0,97 ^{bcde}	484,10±36,83 ^{ab}	2347,52±995,28 ^{defg}	615,14±260,50 ^f	39,38±0,36 ^{defgh}	130,98±25,26 ^a	7,02±0,91 ^c	2,66±0,56 ^{fg}
	90	1,07±0,12 ^{cde}	496,14±94,25 ^{ab}	1219,72±64,11 ^{fgh}	620,47±225,89 ^f	79,53±21,68 ^{cdef}	66,18±9,35 ^{cde^f}	14,66±9,54 ^{bc}	4,10±0,01 ^{fg}
	105	0,98±0,81 ^{cde}	138,72±52,16 ^{fg}	2237,64±864,40 ^{defg}	1204,22±303,45 ^f	105,88±21,46 ^{bc}	52,34±6,88 ^{defghij}	12,30±7,94 ^{bc}	2,06±1,28 ^{fg}
VV	75	1,60±0,71 ^{bcde}	339,39±107,43 ^d	1678,40±615,93 ^{efgh}	1460,00±300,39 ^f	104,86±10,50 ^{bc}	100,20±33,04 ^b	33,97±16,85 ^b	9,44±4,10 ^{defg}
	90	0,74±0,17 ^{de}	426,70±52,50 ^{cb}	1331,24±429,43 ^{fgh}	775,65±226,96 ^f	86,48±27,77 ^{cde}	61,41±7,93 ^{cdefgh}	12,48±6,37 ^{bc}	5,46±0,25 ^{efg}
	105	0,59±0,20 ^{de}	69,29±25,80 ^{ghi}	818,44±153,91 ^{gh}	1730,86±172,29 ^f	63,16±2,86 ^{cdefgh}	45,67±10,53 ^{efghijk}	11,74±3,24 ^{bc}	2,57±0,80 ^{fg}
AVV	75	0,55±0,47 ^{de}	171,09±58,28 ^{fg}	473,84±151,88 ^h	1829,96±514,88 ^f	62,45±16,58 ^{cdefgh}	104,58±6,27 ^b	49,41±10,94 ^a	14,74±8,42 ^{bcde}
	90	0,49±0,15 ^{de}	531,99±50,50 ^a	809,80±213,47 ^{gh}	848,12±284,50 ^f	178,26±69,71 ^a	87,53±7,21 ^{bcd}	18,62±4,42 ^{bc}	17,57±12,69 ^{bc}
	105	0,56±0,04 ^{de}	103,29±30,24 ^{fghi}	1064,57±35,70 ^{gh}	1674,40±180,30 ^f	131,03±8,05 ^b	51,63±11,84 ^{defghij}	15,15±3,62 ^{bc}	3,50±2,00 ^{fg}
CL	75	5,26±2,73 ^{ab}	157,97±26,17 ^{fg}	4053,22±641,82 ^{ab}	1458,22±334,33 ^f	11,75±1,20 ^h	94,04±45,20 ^{bc}	7,60±0,93 ^c	3,36±0,21 ^{fg}
	90	2,68±0,97 ^{bcde}	156,37±47,89 ^{fg}	2005,50±279,24 ^{efgh}	865,59±142,54 ^f	11,86±0,28 ^h	24,40±7,47 ^{fghijk}	8,06±1,46 ^c	3,10±1,29 ^{fg}
	105	2,33±1,24 ^{bcde}	33,60±11,20 ^{hi}	3530,85±962,36 ^{abcd}	2296,47±1116,17 ^f	23,88±0,05 ^{fgh}	3,34±0,15 ^k	9,26±9,67 ^{bc}	1,15±0,09 ^g
AL	75	4,42±3,76 ^{abcd}	152,59±18,91 ^{fg}	4238,00±41,30 ^{ab}	791,80±33,24 ^f	8,41±0,19 ^h	83,39±47,78 ^{bcde}	6,40±1,48 ^c	2,28±0,28 ^{fg}
	90	0,18±0,04 ^{de}	535,08±30,50 ^a	1935,51±55,99 ^{efgh}	1415,62±253,25 ^f	71,46±9,99 ^{cdefg}	54,26±4,04 ^{defghi}	51,95±4,08 ^a	51,90±3,99 ^a
	105	1,85±1,77 ^{bcde}	35,22±5,35 ^{hi}	1102,37±59,49 ^{gh}	1288,59±431,59 ^f	42,51±0,25 ^{defgh}	9,70±3,74 ^{jk}	10,33±3,26 ^{bc}	1,87±0,16 ^{fg}
VL	75	1,60±2,34 ^{bcde}	117,86±6,94 ^{fghi}	1803,95±693,36 ^{efgh}	2897,07±1610,49 ^f	42,20±19,17 ^{defgh}	47,35±15,39 ^{efghijk}	18,54±10,55 ^{bc}	19,32±3,22 ^b
	90	0,67±0,32 ^{cde}	18,57±14,75 ^f	991,08±795,11 ^{efgh}	1531,76±721,23 ^f	45,91±7,77 ^{bcd}	9,88±2,66 ^{ghijk}	13,46±0,81 ^{bc}	1,75±0,03 ^{bcdef}
	105	0,97±1,29 ^{de}	193,17±34,72 ^{hi}	1705,31±923,70 ^{gh}	1283,15±570,72 ^f	92,06±2,92 ^{defgh}	21,47±3,17 ^{jk}	23,50±14,43 ^{bc}	12,43±9,45 ^{fg}
	75	2,40±1,57 ^{bcde}	122,47±14,16 ^{fgh}	1072,97±27,30 ^{gh}	1363,61±365,73 ^f	47,99±25,24 ^{defgh}	44,13±8,75 ^{efghijk}	11,29±5,47 ^{bc}	5,45±2,18 ^{efg}

AVL	90	1,68±1,42 ^{bcde}	155,04±28,68 ^{fg}	1570,62±839,62 ^{efgh}	1096,60±65,77 ^f	70,14±22,56 ^{cdefg}	30,21±5,47 ^{fghijk}	13,00±1,47 ^{bc}	4,28±1,21 ^{fg}
	105	0,60±0,18 ^{de}	21,86±7,42 ^{hi}	909,43±145,95 ^{efgh}	1050,15±234,50 ^f	36,41±7,97 ^{efgh}	8,96±1,00 ^{jk}	4,36±0,19 ^c	2,39±1,03 ^{fg}
CA	75	6,34±0,67 ^a	30,55±19,64 ^{hi}	2984,17±153,14 ^{bcde}	7297,25±1093,24 ^{de}	19,64±8,11 ^{fgh}	35,65±16,32 ^{fghijk}	6,33±2,69 ^c	2,75±1,32 ^{fg}
	90	2,75±0,21 ^{bcde}	19,21±7,43 ^{hi}	1784,95±157,18 ^{efgh}	5893,67±917,06 ^{ef}	38,16±7,11 ^{defgh}	25,12±1,84 ^{fghijk}	6,27±1,01 ^c	3,49±0,67 ^{fg}
	105	1,92±0,90 ^{bcde}	12,45±5,77 ⁱ	3661,97±1398,61 ^{abc}	8291,29±1470,80 ^{cde}	36,28±10,43 ^{efgh}	8,11±2,94 ^{jk}	18,26±6,34 ^{bc}	2,95±0,79 ^{fg}
AA	75	1,49±0,53 ^{bcde}	18,37±5,18 ^{hi}	867,90±139,42 ^{gh}	15336,65±3513,81 ^a	71,16±11,83 ^{cdefg}	28,01±1,10 ^{fghijk}	57,57±17,43 ^a	10,13±2,87 ^{cdefg}
	90	0,91±0,33 ^{cde}	10,00±5,79 ⁱ	695,87±133,62 ^{gh}	10281,87±1639,10 ^{b_{cd}}	41,79±7,31 ^{defgh}	34,90±3,91 ^{fghijk}	20,88±10,16 ^{bc}	15,62±2,83 ^{bcd}
	105	1,00±0,38 ^{cde}	5,14±1,51 ⁱ	843,40±433,76 ^{gh}	13900,12±4208,37 ^{a_b}	34,52±14,17 ^{efgh}	7,89±1,65 ^{jk}	26,40±6,23 ^{bc}	5,00±1,96 ^{efg}
VA	75	3,43±1,01 ^{abcde}	28,34±11,51 ^{hi}	1715,08±486,38 ^{efgh}	9558,26±2187,33 ^{bcd_e}	68,40±31,42 ^{cdefg}	50,99±10,87 ^{efghij}	13,96±6,14 ^{bc}	7,20±4,23 ^{defg}
	90	1,69±0,70 ^{bcde}	20,96±4,60 ^{hi}	1683,54±470,38 ^{efgh}	7034,69±2538,55 ^{de}	42,14±14,00 ^{defgh}	31,08±4,71 ^{fghijk}	23,82±8,75 ^{bc}	7,96±2,77 ^{defg}
	105	1,32±0,31 ^{cde}	9,71±2,10 ⁱ	1576,68±253,74 ^{efgh}	12548,18±6353,91 ^{a_{bc}}	30,23±11,86 ^{efgh}	5,48±1,29 ^k	20,84±11,99 ^{bc}	4,78±2,04 ^{efg}
AVA	75	2,65±0,56 ^{bcde}	15,39±4,06 ^{hi}	1425,97±104,34 ^{efgh}	12353,73±2257,43 ^{a_{bc}}	61,00±12,29 ^{cdefgh}	30,66±3,16 ^{fghijk}	19,00±13,34 ^{bc}	6,65±1,87 ^{defg}
	90	1,47±0,07 ^{bcde}	16,21±3,10 ^{hi}	1381,79±341,12 ^{efgh}	10613,22±1994,85 ^{b_{cd}}	45,50±9,34 ^{defgh}	32,37±2,92 ^{fghijk}	12,29±3,69 ^{bc}	4,44±1,19 ^{fg}
	105	1,49±0,87 ^{bcde}	7,18±1,27 ⁱ	1403,34±548,31 ^{efgh}	12413,10±3739,00 ^{a_{bc}}	33,79±12,28 ^{efgh}	9,33±3,25 ^{jk}	20,51±10,50 ^{bc}	6,09±0,10 ^{defg}

Médias (n = 3) seguidas pela mesma letra dentro de cada coluna não diferem entre si pelo teste de Newman-Keuls, 5%.

ANT: antocianinas totais; LUT: luteína; FEN: fenólico totais; ABTSF: capacidade antioxidante ABTS no extrato fenólico; DPPHF: capacidade antioxidante DPPH no extrato fenólico; ABTSC: capacidade antioxidante ABTS no extrato de carotenoides; DPPHF: capacidade antioxidante DPPH no extrato de carotenoides.

CV: controle das flores vermelhas; AV: luz azul com flores vermelhas; VV: luz vermelha com flores vermelhas; AVV: luz azul e vermelha com flores vermelhas; CL: controle das flores alaranjadas; AL: luz azul com flores alaranjadas; VL: luz vermelha com flores alaranjadas; AVL: luz azul e vermelha com flores alaranjadas; CA: controle das flores amarelas; AA: luz azul com flores vermelhas; VA: luz vermelha com flores amarelas; AVA: luz azul e vermelha com flores amarelas.

3.1 Produção de massa seca

As flores sem suplementação tenderam a apresentar maiores valores de massa seca com 75 dias de cultivo. Após 75 dias os valores de MASSA tenderam a um decréscimo até todos os valores se apresentassem agrupados conforme mostra a figura 1 (a). Esse agrupamento após 105 dias de cultivo pode indicar uma produção de matéria seca mínima que a planta de capuchinha plantada em vaso é capaz de produzir. A suplementação por 75 dias consecutivos pode ter ocasionado um estresse na planta de capuchinha não apresentando diferenças significativas ao longo do tempo de cultivo ($p>0,05$).

3.2 Antocianinas totais e fenólicos totais

Os teores médios de antocianinas totais apresentaram um aumento na em suas médias aos 90 dias de cultivo em relação aos 75 dias (Figura 1.c), com exceção das flores amarelas que não apresentaram diferença significativa ($p>0,05$). Após os 90 dias de cultivo as flores que apresentaram um acréscimo tenderam a apresentar um decréscimo em seus teores de antocianinas totais até os 105 dias de cultivo. As flores vermelhas suplementada com luz LED azul com 75 e 90 dias de cultivo, azul+vermelha com 90 dias de cultivo e as flores alaranjadas suplementadas com luz LED azul com 90 dias de cultivo apresentaram maiores teores de antocianinas totais ($p<0,05$). A influência da luz LED azul está relacionada alteração na expressão gênica, fato já relatado por outros autores (KONDO et al., 2014; ZHANG et al., 2018). As capuchinhas são ricas naturalmente em antocianinas, principalmente as flores vermelhas, tornando benéfico o seu consumo. Além disso, pode se torna fonte de corante natural para a indústria alimentícia.

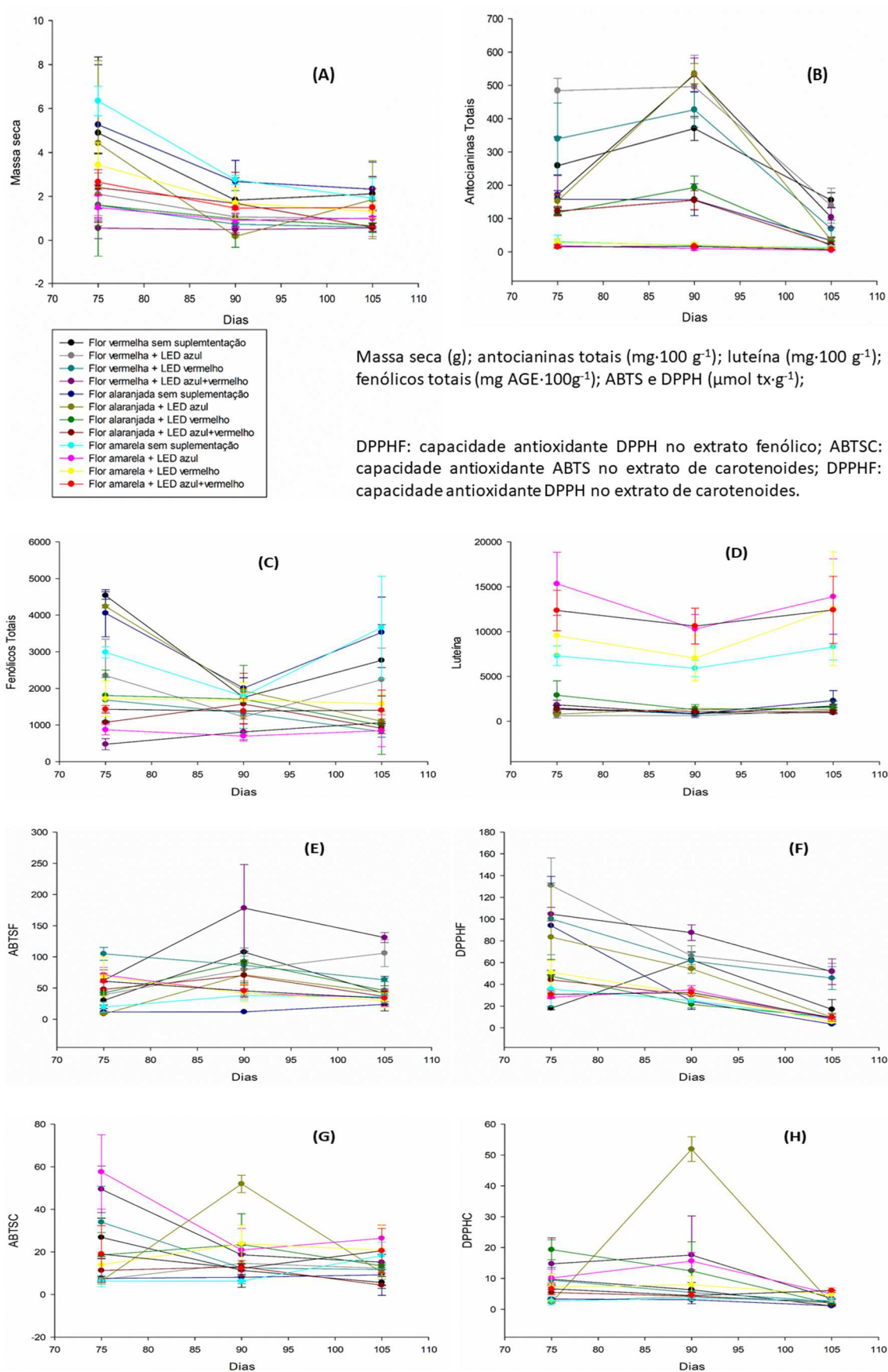


Figura 1. Perfil quantitativos da massa seca (A), antocianinas totais (B), fenólicos totais (C), luteína (D), e capacidade antioxidante (E, F, G e H) ao longo do tempo das flores de capuchinha submetidas a suplementação de luz

Os valores de fenólicos totais apresentaram uma tendência a diminuir após os 75 dias de cultivo com uma inflexão após os 90 dias de cultivo, perfil evidenciado nas flores vermelhas (Figura 1.d). As capuchinhas são fontes de compostos fenólicos, mesmo as flores amarelas que apresentam menores teores de ANT, entretanto são ricas em compostos do ácido hidroxicinâmico (GARZÓN et al., 2015).

3.3. Luteína

Os teores de luteínas para as flores amarelas suplementadas com luz LED com 75 dias de cultivos apresentaram diferença significativa em relação a não suplementadas ($p < 0,05$), exceto para flores amarelas suplementadas com a luz LED vermelhas ($p > 0,05$). As flores amarelas apresentaram uma tendência a diminuir os teores de luteína após os 75 dias de cultivo e aumentar após os 90 dias de cultivo. As flores vermelhas e alaranjadas não apresentaram diferença significativas ao longo do cultivo, independentemente se suplementadas ou não (Tabela 1), isso indica que as flores de capuchinhas não sofre influência da qualidade de radiação na biossíntese de luteína, único carotenoide presente (NIIZU; RODRIGUEZ-AMAYA, 2005).

3.4 Capacidade antioxidantes

A capacidade antioxidante foi medida pela inibição dos radicais ABTS^{•+} e DPPH, pelo mecanismo de doação de elétrons ou de prótons (H^+) e foi comparado por equivalência ao padrão de trolox. O tipo de extrato apresentou perfil de capacidade antioxidante diferente para os diferentes tipos de cor de flor (Tabela 1).

BENVENUTI; BORTOLOTTI; MAGGINI, (2016) avaliaram 12 tipos de flores comestíveis, inclusive a capuchinha alaranjada, e observaram que as flores comestíveis possuem potencial antioxidante maior comparados aos vegetais folhosos.

Os extratos fenólicos apresentaram um perfil diferente para os radicais ABTS e DPPH (extratos fenólicos). As flores de capuchinhas são ricas em diversas substâncias com capacidade antioxidante comprovadas *in vitro*; tais substâncias apresentam afinidades maiores em diferentes solventes. Portanto, a escolha do solvente de extração impacta nos valores das atividades antioxidantes nas diferentes flores de capuchinhas. Um estudo que ponderasse o efeito de compostos hidrossolúveis (antocianinas e fenólicos) e lipossolúveis (carotenoides), por meio de uma nova metodologia ou equação matemática para aproximação real da capacidade antioxidante de alimentos ricos em diferentes compostos, como a capuchinha, se faz necessário em pesquisas futuras.

3.5 Análise de componentes principais

Utilizando a análise de componentes principais (Figura 2) foi possível avaliar as correlações entre as flores suplementadas com luz LED e não suplementadas. Dois componentes principais foram usados para explicar 58,73% da variância total observada entre as flores (Figura 1). Os teores de antocianinas totais, DPPH (extrato de carotenoides) e ABTS (extrato fenólicos) se correlacionaram forte negativamente com o primeiro componente principal (PC1), enquanto a luteína se correlacionou positivamente com o PC2 (Figura 1).

Foi possível observar os tratamentos foram descriminalizados ao longo do PC1 (33,53% da variação total), os teores de antocianinas totais, DPPH (extrato de carotenoides) e ABTS (extrato fenólicos) como as de maior impacto. As flores vermelhas e as flores das demais cores suplementadas com luz LED azul apresentaram tendência a se correlacionar negativamente com o PC1, devido aos maiores teores de Os teores de antocianinas totais, DPPH (extrato de carotenoides) e ABTS (extrato fenólicos). As flores amarelas apresentaram tendência a se correlacionar positivamente com o PC1 e com PC2

(26,20 da variação total), evidenciando sua correlação a luteína cujo é o pigmento majoritário.

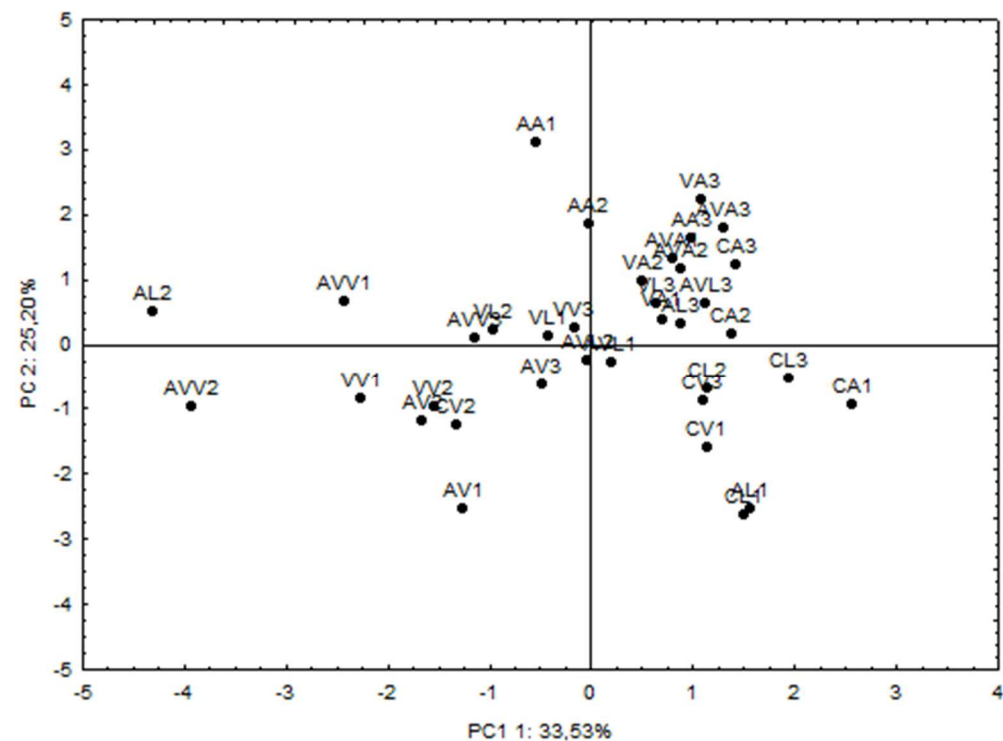
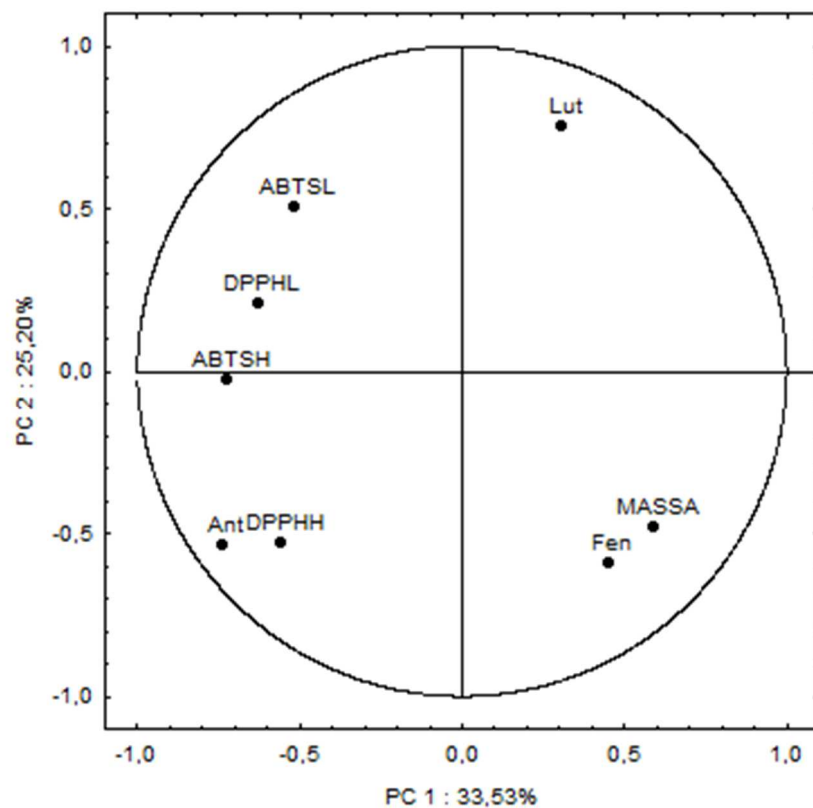


Figura 2. Escores e cargas plotadas da análise de PCA para as os compostos bioativos das flores de capuchinhas suplementadas com luz LED vermelha, azul e vermelha+azul e sem suplementação.

CONCLUSÃO

A luz LED azul aumentou a síntese de antocianinas totais para flores vermelhas e alaranjadas. As flores amarelas suplementadas com luz LED apresentaram maiores teores de luteína e as flores vermelha e laranjas não apresentaram diferença significativas independentemente da qualidade da irradiação. Os teores de antocianinas totais e luteínas, DPPH (extrato de carotenoides) e ABTS (extrato fenólicos) foram as variáveis de maior impacto para a descriminalização das flores de capuchinha suplementadas ou sem suplementação ao longo do tempo de cultivo.

REFERÊNCIA

- BANTIS, F. et al. Scientia Horticulturae Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). **Scientia Horticulturae**, v. 235, n. March, p. 437–451, 2018a.
- BANTIS, F. et al. Scientia Horticulturae Light emitting diodes (LEDs) affect morphological , physiological and phytochemical characteristics of pomegranate seedlings. **Scientia Horticulturae**, v. 234, n. April 2017, p. 267–274, 2018b.
- BAZYLKO, A. et al. Comparison of antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial activity and chemical composition of aqueous and hydroethanolic extracts of the herb of *Tropaeolum majus* L. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 88–94, out. 2013.
- BENVENUTI, S.; BORTOLOTTI, E.; MAGGINI, R. Antioxidant power, anthocyanin content and organoleptic performance of edible flowers. **Scientia Horticulturae**, v. 199, p. 170–177, 16 fev. 2016.
- BERKOVICH, Y. A. et al. REACH - Reviews in Human Space Exploration LED crop illumination inside space greenhouses. **REACH - Reviews in Human Space Exploration**, v. 6, p. 11–24, 2017.
- BULA, R. J. et al. Light-emitting diodes as a radiation source for plants. **HortScience**, v. 26, n. 2, p. 203–205, 1991.
- CHOI, H. G.; MOON, B. Y.; KANG, N. J. Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. **Scientia Horticulturae**, v. 189, p. 22–31, jun. 2015.
- COCETTA, G. et al. Light use efficiency for vegetables production in protected and indoor environments. 2017.
- FERNANDES, L. et al. Edible flowers: A review of the nutritional, antioxidant,

antimicrobial properties and effects on human health. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 60, p. 38–50, 1 jul. 2017.

FULEKI, T.; FRANCIS, F. J. Quantitative Methods for Anthocyanins. 1. Extration and Determination of Total Anthocyanin in Cranberries. **Journal of Food Engineering**, v. 33, p. 72–77, 1968.

GARZÓN, G. A. et al. Identification of phenolic compounds in petals of nasturtium flowers (*Tropaeolum majus*) by high-performance liquid chromatography coupled to mass spectrometry and determination of oxygen radical absorbance capacity (ORAC). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, n. 6, p. 1803–1811, 2015.

GARZÓN, G. A.; WROLSTAD, R. E. Major anthocyanins and antioxidant activity of Nasturtium flowers (*Tropaeolum majus*). **Food Chemistry**, v. 114, n. 1, p. 44–49, maio 2009.

GRAJEDA-IGLESIAS, C. et al. Lipophilization and MS characterization of the main anthocyanins purified from hibiscus flowers. **Food Chemistry**, v. 230, p. 189–194, 1 set. 2017.

HE, J. et al. Phenolic compounds and antioxidant activities of edible flowers of *Pyrus pashia*. **Journal of Functional Foods**, v. 17, p. 371–379, ago. 2015.

IBRAHIM, P. et al. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 538–544, 2013.

JEONG, S.-Y. et al. Photobiological (LED light)-mediated fermentation of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit with probiotic bacteria to yield bioactive compounds. **LWT**, v. 93, p. 158–166, 1 jul. 2018.

KIM, D.-O. et al. Vitamin C Equivalent Antioxidant Capacity (VCEAC) of Phenolic Phytochemicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 13, p. 3713–3717, 1 jun. 2002.

KOIKE, A. et al. Irradiation as a novel approach to improve quality of *Tropaeolum majus* L. flowers: Benefits in phenolic profiles and antioxidant activity. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 30, p. 138–144, 1 ago. 2015.

KONDO, S. et al. Absciscic acid metabolism and anthocyanin synthesis in grape skin are affected by light emitting diode (LED) irradiation at night. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 10, p. 823–829, 15 jun. 2014.

MLCEK, J.; ROP, O. Fresh edible flowers of ornamental plants – A new source of nutraceutical foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 10, p. 561–569, out. 2011.

MUKAKA, M. M. Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69–71, 2012.

NACHTIGALL, A. M.; STRINGHETA, P. C.; FIDELIS, P. C. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE LUTEÍNA. **B.CEPPA**, v. 25, p. 181–192, 2007.

NIIZU, P. Y.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flowers and Leaves of *Tropaeolum majus* L. as Rich Sources of Lutein. **Journal of Food Science**, v. 70, n. 9, p. S605–S609, 2005.

PIRES, T. C. S. P. et al. Edible flowers as sources of phenolic compounds with bioactive potential. **Food Research International**, v. 105, p. 580–588, 1 mar. 2018.

QIAN, H. et al. Effects of light quality on main health-promoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale sprouts. **Food Chemistry**, v. 196, p. 1232–1238, abr. 2016.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9–10, p. 1231–1237, maio 1999.

RIBEIRO, W. S.; BARBOSA, J. A.; COSTA, L. C. **Capuchinha (Tropaeolum majus L.** Brasília: Kiron, 2012.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. et al. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, n. 6, p. 445–463, 2008.

SEO, J.-M. et al. Phenylalanine and LED lights enhance phenolic compound production in Tartary buckwheat sprouts. **Food chemistry**, v. 177, p. 204–13, 15 jun. 2015.

SHABBIR, M.; RATHER, L. J.; MOHAMMAD, F. Economically viable UV-protective and antioxidant finishing of wool fabric dyed with Tagetes erecta flower extract: Valorization of marigold. **Industrial Crops and Products**, v. 119, p. 277–282, 1 set. 2018.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 820–897, jul. 2015.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144 LP-158, 1 jan. 1965.

WU, M. et al. A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. **Food Chemistry**, v. 101, n. 4, p. 1753–1758, 2007.

ZHANG, Y. et al. Characterization of anthocyanin and proanthocyanidin biosynthesis in two strawberry genotypes during fruit development in response to different light qualities. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, 29 jul. 2018.

ARTIGO 4

MODELAGEM MATEMÁTICA E EFEITO DO TEMPO E TEMPERATURA DA SECAGEM NA EXTRAÇÃO DE ANTOCIANINAS E FENÓLICOS EM FLORES DE CAPUCHINHAS ALARANJADAS (*Tropaeolum majus* L.)

RESUMO

Objetivou-se avaliar a cinética de secagem e verificar o impacto do tempo de secagem e diferentes temperatura do ar na extração de antocianinas e fenólicos bem como na capacidade antioxidante das flores capuchinhas alaranjadas. Foram retiradas amostras durante o processo de secagem para as análises de umidade, antocianinas totais, compostos fenólicos e capacidade antioxidante. As temperaturas de processo foram 40 °C, 50 °C, 60 °C e 70 °C. A secagem apresentou efeito significativo ($p < 0,05$), a temperatura de 50 °C por 20 minutos de secagem foi o tratamento com maior teor de antocianinas totais, para fenólicos totais foram as temperaturas de 50, 60 e 70 °C por 20, 40 e 40 minutos, respectivamente e as temperaturas de 40 e 60 °C por 80 e 180 minutos, respectivamente, para capacidade antioxidante. As antocianinas e fenólicos totais apresentaram correlação forte e significativa e ambos obtiveram correlação fraca e não significativa com a capacidade antioxidante ($p > 0,05$). A secagem apresentou efeito positivo na extração de antocianinas e fenólicos totais, podendo ser uma alternativa para aumentar as extrações desses compostos em flores de capuchinha.

Palavras-chave: Flores comestíveis, compostos bioativos, processamento de flores e cinética de secagem.

1. INTRODUÇÃO

O crescente interesse dos consumidores por alimentos naturais e com propriedades funcionais tem conduzido pesquisas científicas que exploram alimentos vegetais e seus fitoquímicos. Desta forma, as flores comestíveis têm ganhado espaço na dieta humana para obter sabores, cores diferenciadas e atraentes, com benefícios funcionais. As flores podem ser exploradas para produção de chás florais, geleias, bebidas ou ainda consumidas *in natura* (VOON; BHAT; RUSUL, 2012; PIRES et al., 2016; PEREIRA et al., 2017).

O consumo de flores em saladas, chás e outras preparações podem trazer inúmeros benefícios para saúde, tendo em vista a gama de compostos bioativos, principalmente fenólicos, presentes nestes alimentos (BENVENUT; BORTOLOTTI; MAGGINI, 2016). Tais compostos podem combater os radicais livres produzidos pelo metabolismo humano evitando doenças oriundas do estresse oxidativo (QINGMING et al., 2010).

Neste âmbito, destaca-se a capuchinha (*Tropaeolum majus*) que é uma planta originária das Américas Central e do Sul. Suas flores podem ser vermelhas, alaranjadas ou amarelas e seu sabor é ligeiramente picante. Além das características sensoriais, apresenta uma grande variedade de fitoquímicos como, flavonoides, carotenoides, ácidos fenólicos e vitaminas (NIIZU; RODRIGUEZ-AMAYA, 2006; GARZÓN; WROLSTAD, 2009; KOIKE, 2015).

A secagem é um método amplamente utilizado pela indústria para conservação do produto, tendo como vantagem o aumento na estabilidade e redução de custos com transporte (PARK; YADO; BROD 2001; BOUDHRIOUA et al., 2002; DEFRAEYE, 2017). A redução do tamanho e mudança na estrutura devido a temperatura pode favorecer a difusividade dos compostos intracelulares durante a extração sólido-líquido (TÜRKER; ERDOĞDU, 2006). Dessa forma o presente trabalho foi desenvolvido com

o objetivo de avaliar e ajustar diferentes modelos matemáticos mediante aos dados de secagem de flor de capuchinha, determinar o coeficiente de difusão efetiva e os teores das antocianinas totais, fenólicos totais e capacidade antioxidante durante a secagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O cultivo das flores de capuchinha foi realizado no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Brasil-MG, no setor de floricultura. O processo de secagem e as análises de compostos bioativos no Departamento de Tecnologia de Alimentos no Laboratório de Corantes e Compostos Bioativos.

2.1 Delineamento Experimental

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado (DIC). O delineamento de tratamentos foi realizado por parcela subdividida com efeito de 4 níveis de temperatura na parcela e efeito de 4 níveis de tempo subparcela, com três repetições. As análises de umidade, antocianinas totais, fenólicos totais e capacidade antioxidante foram feitas em triplicatas (n=3).

2.2 Secagem, modelagem e determinação do coeficiente de difusão (D_{ef})

Foi realizado a secagem em secador do tipo gabinete com bandejas perfuradas e circulação de ar forçada nas flores de capuchinhas *in-natura* em 4 temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C). Durante a secagem foi monitorada a umidade, o teor de antocianinas e fenólicos totais e a capacidade antioxidante pela técnica ABTS até se atingir massa constante. As análises foram feitas para a secagem a 40 °C com 0 min, 60 min, 80 min 600 min. Para 50 °C com 0 min, 20 min, 60 min e 420 min. Para as temperaturas de 60 °C e 70 °C com 0 min, 20 min, 40 min e a massa constante com 180 min e 140 min,

respectivamente. As bandejas foram giradas a 180° a cada hora e foi mudada a posição das bandejas para não ocorrer interferência de posição durante a secagem.

Os pontos experimentais das curvas de cinética de secagem das flores de capuchinha foram ajustados através de modelos matemáticos encontrados na literatura, conforme sumarizado na Tabela 1.

Tabela 1 - Modelos matemáticos utilizados no ajuste das curvas de secagem

Designação dos Modelos	Modelos
Page modificado	$RU = e^{(-kt)^n}$
Henderson e Pabis (H&P)	$RU = Ce^{(-kt)}$
Newton	$RU = e^{(-kt)}$

$RU = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e}$ é a razão de umidade, X_t é o teor de água em qualquer instante de tempo, X_e é o teor de água na condição de equilíbrio, X_0 é o teor de água inicial, t é o tempo de secagem em horas e b , k , n e C são parâmetros dos modelos.

Para o cálculo do coeficiente de difusão foi utilizada a equação 1, a qual é uma solução analítica da segunda lei de Fick, em que foram feitas as seguintes considerações: que a difusividade D_{ef} é constante ao longo do tempo; no início a umidade do produto é uniformemente distribuída; o encolhimento do produto durante a secagem é desprezível; ocorre remoção de água somente em uma direção; e a camada de produto forma uma placa plana.

$$RU = \frac{8}{\pi^2} \left[e^{-D_{ef}t \left(\frac{\pi}{2x_1} \right)^2} + \frac{1}{9} e^{-9D_{ef}t \left(\frac{\pi}{2x_1} \right)^2} + \frac{1}{25} e^{-25D_{ef}t \left(\frac{\pi}{2x_1} \right)^2} + \dots \right] \quad (1)$$

em que x_1 é a espessura do alimento.

Para estimar os valores do coeficiente de difusão em função da temperatura, foi utilizada a equação de Arrhenius como mostra a equação 2.

$$D_{ef} = A \exp \left(-\frac{E_a}{RT} \right) \quad (2)$$

em que A é uma constante em $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$, E_a é a energia de ativação em J mol^{-1} , R é a constante universal dos gases em $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ e T é a temperatura em K.

2.3 Umidade

A análise de umidade nas flores de capuchinha foi determinada pelo método da estufa a 105°C até massa constante (A.O.A.C, 2000). A umidade foi realizada nas flores de capuchinha *in natura* e durante a etapa de secagem.

2.4 Obtenção dos extratos

A elaboração do extrato seguiu a metodologia descrita por IBRAHIM et al., (2013) com modificações. Para a obtenção do extrato foram pesados 5 g das flores de capuchinhas alaranjadas (pistilo + pétalas) trituradas, em seguida foi adicionado 50 mL de etanol: água 70:30 (v/v), com pH ajustado para $2,0 \pm 0,1$ pela adição de HCl concentrado e mantida em refrigeração ($10 \pm 2^\circ \text{C}$), durante 24 h. Após o tempo de infusão, o extrato foi filtrado à vácuo em papel Whatman nº1.

2.5 Quantificação de antocianinas totais

As antocianinas totais foram quantificadas de acordo com o método proposto por FULEKI; FRANCIS, (1968). Os resultados foram expressos em miligramas de cianidina por cem gramas de flor em base seca ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ BS}$).

2.6 Quantificação de fenólicos totais

A quantificação dos fenólicos totais foi realizada segundo método proposto por SINGLETON e ROSSI, (1965). Os resultados foram expressos em miligramas equivalentes de ácido gálico (EAG) por cem gramas de flor em base seca (mg EAG•100 g⁻¹ BS).

2.7 Capacidade antioxidante

Para a determinação pelo ensaio da capacidade antioxidante equivalente de Trolox foi seguindo a metodologia descrita por RE et al., (1999) para o radical ABTS^{•+}. Foi utilizado o Trolox como padrão e os resultados foram expressos em micromol equivalente de Trolox por cem gramas de flor em base seca (μmol Tx•100 g⁻¹ BS).

2.8 Análise estatística

As variáveis foram medidas em triplicada, e os resultados foram relatados como médias ± desvio padrão. As análises de dados foram realizadas com software SAS versão 9.3 Statistical Analysis System – SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), licenciado pela Universidade Federal de Viçosa e pelo R (software livre). Foram realizadas regressões não lineares para a avaliação da razão de umidade ao longo do tempo e o coeficiente de difusão. Para verificar a o impacto do tempo x temperatura nos teores de antocianinas totais, fenólico totais e capacidade antioxidantes. A análise de correlação entre os parâmetros de antocianinas, fenólicos e capacidade antioxidante foi realizada com o teste de correlação de Pearson. A significância estatística foi p <0,05.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao fim das secagens em leito de espuma observou-se que o tempo de secagem foi dependente da temperatura, sendo menor para maiores temperaturas, como pode ser observado na Figuras 1.

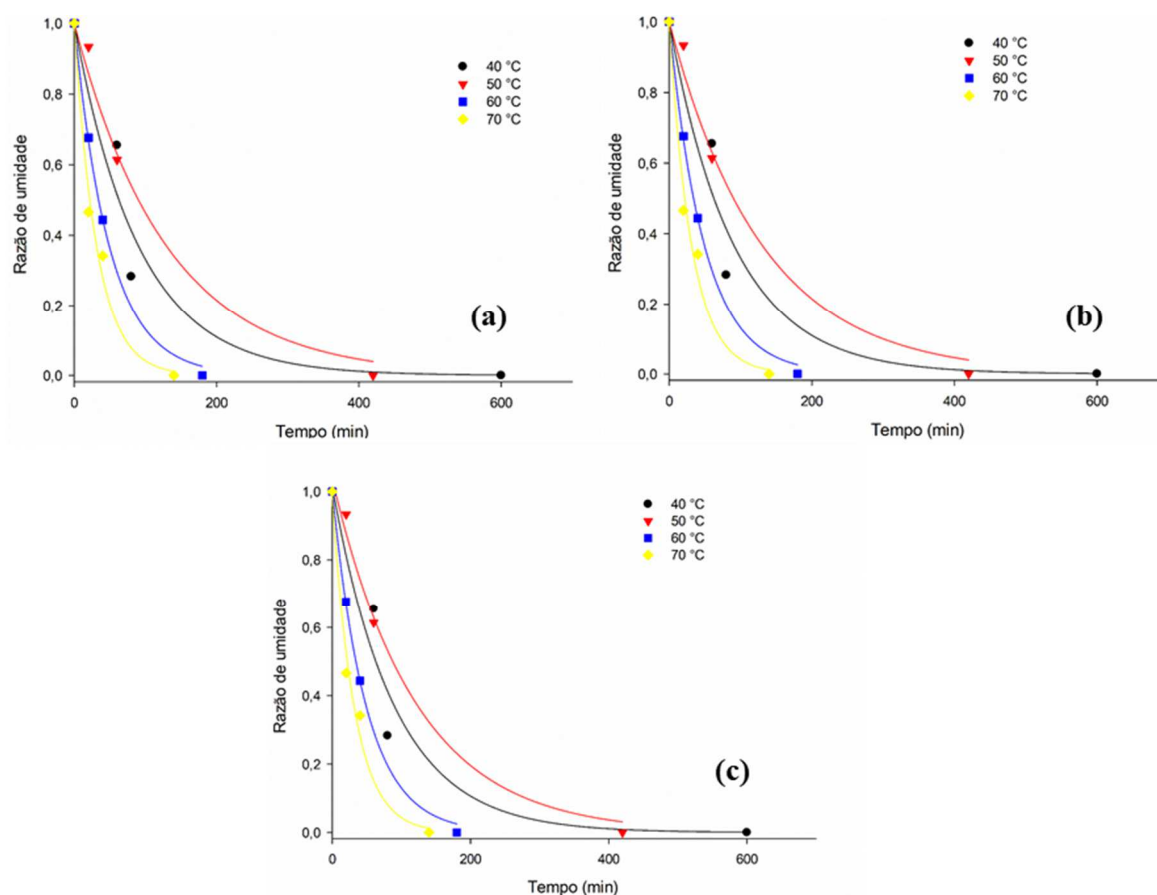


Figura 1 – Curvas de secagem de flores alaranjadas capuchinhas em função da temperatura ajustadas pelos modelos de Newton (a); Page (b) e Henderson e Pabis (c).

Os modelos semi-empíricos de Newton, Page e Henderson e Pabis (H&P) foram ajustados mediante regressão não linear. Com os resultados das análises de regressão não linear, realizadas com os modelos semi-empíricos apresentados na Tabela 1, todos os parâmetros foram significativo ($p < 0,05$).

Tabela 2 – Valores dos parâmetros dos modelos de Newton, Page e Henderson e Pabis (H&P) e do coeficiente de determinação (R^2) nas diferentes temperaturas

Modelos	Temperatura (°C)	Modelos	R^2 (%)
Newton	40	$RU = e^{-0,011t}$	93,60
	50	$RU = e^{-0,007t}$	98,79
	60	$RU = e^{-0,02t}$	99,86
	70	$RU = e^{-0,032t}$	98,47
Page	40	$RU = e^{(-0,011t)^{1,04}}$	90,40
	50	$RU = e^{(-0,007t)^{1,19}}$	98,19
	60	$RU = e^{(-0,020t)^{1,01}}$	99,78
	70	$RU = e^{(-0,034t)^{0,93}}$	97,70
H&P	40	$RU = 1,02e^{-0,011t}$	90,49
	50	$RU = 1,04e^{-0,008t}$	98,65
	60	$RU = 1,01e^{-0,020t}$	99,79
	70	$RU = 0,98e^{-0,031t}$	99,79

Foi possível observar visualmente (Figura 1) que os diferentes modelos não apresentaram diferenças no ajuste aos dados experimentais, e foi evidenciado na Tabela 2 todo apresentando excelentes ajustes indicado pelo coeficiente de determinação, apresentando valores acima de 90 % em todos os casos. O modelo de Newton apresentou um melhor ajuste para as temperaturas de 40 e 50 °C, enquanto o modelo de H&P obtiveram um melhor ajuste para as temperaturas de 60 e 70 °C.

Os valores da difusividade efetiva (D_{ef}) foram calculados a partir dos dados experimentais. Para o cálculo da difusão de vapor no interior da cenoura, foi utilizada a solução analítica da Lei de Fick truncada nos cinco primeiros termos. Os valores encontrados para cada condição experimental de secagem estão descritos nas Tabelas 3.

Tabela 3- Valores de difusividade efetiva (D_{ef}) obtidos para as flores de capuchinha em função da temperatura

Temperatura (°C)	D_{ef} ($m^2.s^{-1}$)	R^2 (%)
40	$2,10 \times 10^{-9}$	90,53
50	$1,26 \times 10^{-9}$	92,56
60	$3,72 \times 10^{-9}$	96,70
70	$6,21 \times 10^{-9}$	97,62

Analisando os resultados encontrados, pôde-se observar que o coeficiente de difusão aumentou com a elevação da temperatura do ar de secagem em todos os casos, portanto, o aumento da temperatura pode diminuir a viscosidade da água, diminuindo assim, a resistensia no escoamento da água no interior da flor. Além disso, a vibração molecular é maior em maiores temperatura o que pode aumentar a difusividade da água (ARAÚJO et al., 2015). Dessa forma, a elevação da temperatura do ar de secagem indica uma maior intensidade do fenômeno de transporte de água do interior para a periferia.

Segundo ZOGZAS et al. (1996), os valores de D_{ef} para produtos alimentícios se encontram entre 10^{-11} e $10^{-9} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$, para a faixa de temperatura em estudo. Os valores obtidos neste trabalho condizem com a literatura.

As Figuras 2 mostra os valores do coeficiente de difusão obtidos durante o experimento em função da temperatura. Esses valores foram linearizados e ajustados por meio de uma regressão linear, sendo utilizado o modelo de Arrhenius.

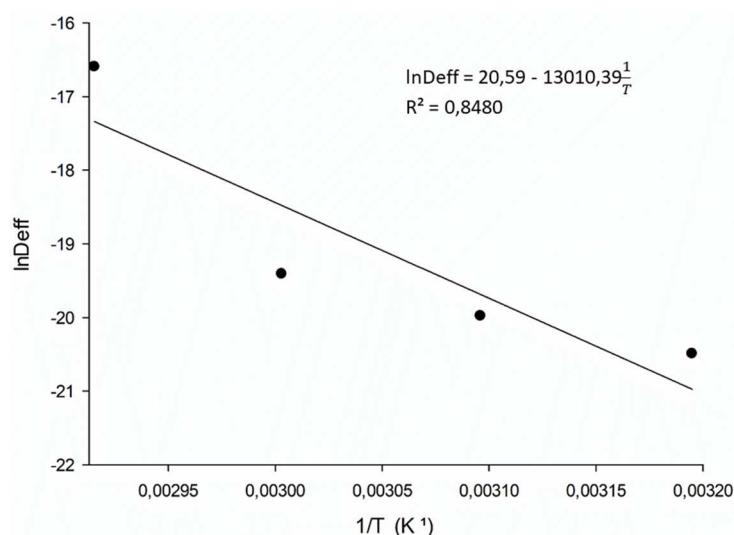


Figura 2 - Representação do modelo Arrhenius ajustado entre a difusividade efetiva (D_{eff}) e em função da temperatura do ar.

O valor da energia de ativação (E_a) encontrado foi de $108,17 \text{ kJ.mol}^{-1}$, para cenoura, tomate, beterraba e morango. valores próximos encontrado por BOTELHO et

al. (2011), que encontrou um valor de 29,092 kJ.mol⁻¹ para secagem de cenoura por infravermelho, assim como DOYMAZ (2004), que encontrou valor de energia de ativação de 28,36 kJ.mol⁻¹ para a secagem convectiva de cenouras e ARAÚJO et al. (2015) encontrou 40,84 kJ.mol⁻¹ para secagem de folha de Jambú. Segundo ZOGZAS et al. (1996), o valor da energia de ativação para produtos agrícolas varia de 12,7 a 110 kJ.mol⁻¹, o que condiz com os valor de energia de ativação encontrado.

Foi realizado teste de tukey nos teores de antocianinas totais e fenólicos totais e capacidade antioxidantes (Figura 3). A secagem apresentou um efeito positivo na extração de antocianinas, fenólicos e na capacidade antioxidante das flores de capuchinha alaranjadas. Com exceções para antocianinas na temperatura de 60 °C no qual no houve diferença significativa ($p>0,05$) e 70 °C com efeito negativo, diminuindo o teor após a secagem. Os teores de fenólicos totais para as temperaturas de 50 °C e 70 °C não apresentaram diferenças significativas ($p>0,05$) quando comparado antes e após a secagem.

Como pode ser observado na Figura 3, respectivamente, o tempo de secagem influenciou nos teores de antocianinas totais e fenólicos totais, aumentando após o início e depois diminuiram até o fim da processo, mostrando que a secagem quando utilizada como pré-tratamento maximiza a extração de antocianinas (ELIASSON; LABROSSE; AHRNÉ, 2017).

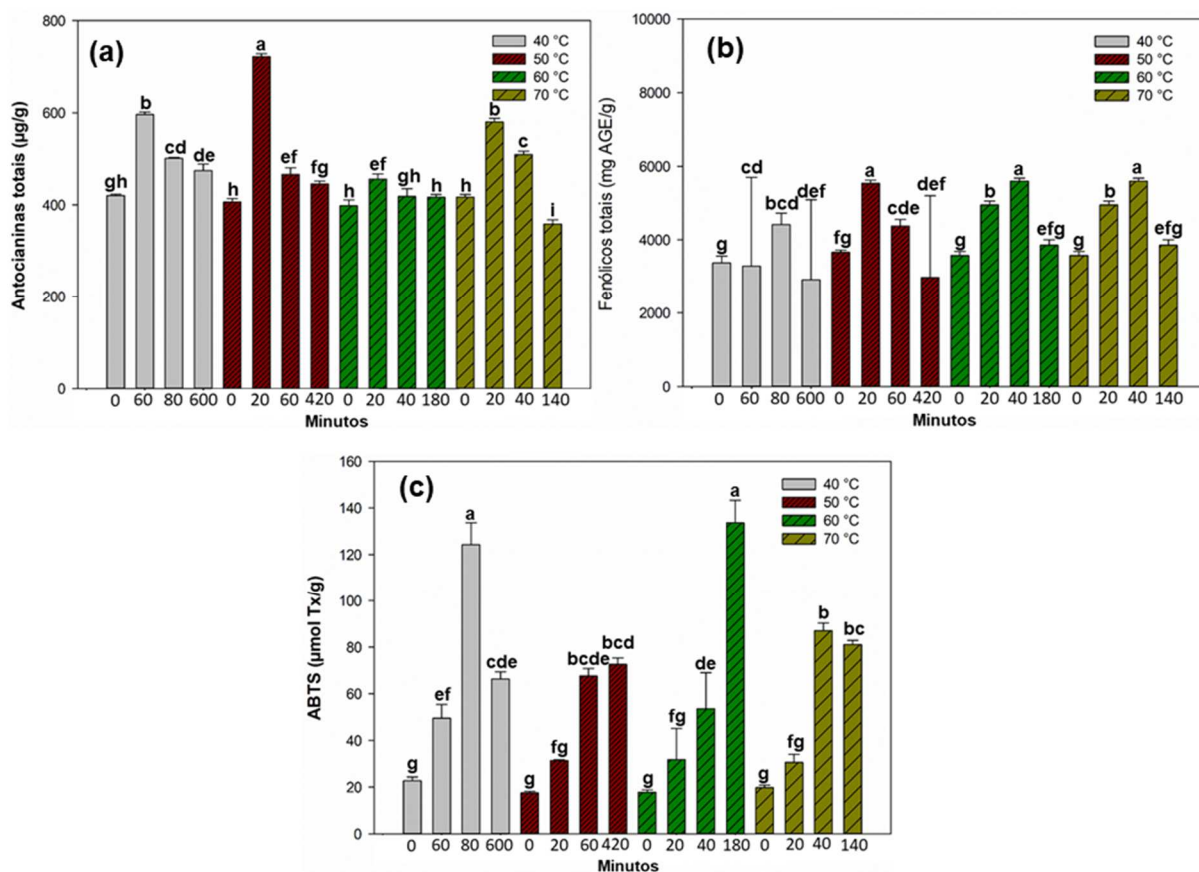


Figura 3 - Perfis das antocianinas totais (a), fenólicos totais (b) e capacidade antioxidantes (c) de flores de capuchinha alaranjada ao longo do tempo de secagem em diferentes temperaturas. Médias, na mesma linha, seguidas por letras diferentes são significativamente diferentes pelo teste tukey ($P < 0,05$).

Para extração de antocianinas a secagem a 50 °C por 20 minutos foi a que teve melhor extração seguida pelas temperaturas de 40 e 70 °C também por 20 minutos (Figura 3.a). Para os compostos fenólicos as temperaturas de 50, 60 e 70 °C por 20, 40 e 40 minutos, respectivamente, de secagem apresentaram maiores teores de fenólico totais extraídos das flores de capuchinhas alaranjadas (Figura 3.b). As flores desidratadas por 80 e 180 minutos nas temperaturas 40 e 60 °C, respectivamente, foram as que apresentaram maior capacidade antioxidante (Figura 3.c).

A explicação para esse fato observado pode estar relacionada com a remoção da água superficial das flores, expondo os compostos aos solventes. Além disso, o gradiente de concentração da água promove uma difusão no interior da flor de capuchinha apresentando uma nova força motriz para auxiliar na extração. Assim, os espaços vazios

promovidos pela passagem de água podem ter gerado um produto mais poroso criando caminhos preferenciais (capilares) aumentando a eficiência da extração (SONG et al., 2015), principalmente de antocianinas que são pigmento presentes nos vacúolos das células vegetais (BROUILLARD, 1982). TÜRKER; ERDOĞ˘DU, (2006) avaliaram as temperaturas de 25 °C, 35,5 °C e 50 °C e pH 2, 3 e 4 no meio de extração e verificaram uma alteração na estrutura da cenoura facilitando ruptura nos tecidos acelerando o processo de extração de antocianinas.

Com o passar do tempo, a retirada da água superficial e a água do interior, os compostos ficaram mais expostos a temperatura de secagem, promovendo a sua degradação como mostrado nas Figuras 3, assim o tempo de secagem também apresentou influência na extração. Entretanto, as concentrações de antocianinas e fenólicos totais ao final da secagem apresentaram valores superiores quando comparada a flor in natura, com exceção para temperatura de 70 °C. O acréscimo ao coeficiente de difusão efetivo e rápida evaporação da água a 70 °C pode ter sido um fator para expor os pigmentos a alta temperatura, assim apresentando maiores degradações (QIU et al., 2018). Outro fator é um maior encolhimento do produto após a retirada da água aumentando a compactação do produto (SONG et al., 2015). KERBSTADT et al., (2015) comparou diferentes técnicas de secagem a 70 °C e 40 °C como pré-tratamento para extração de antocianinas em mirtilo e constatou maior eficiência a temperatura de 70 °C, os autores concluíram que maior temperatura e menor tempo de secagem apresenta maior eficiência para extração de antocianinas. Entretanto, JIMÉNEZ et al., (2012) encontraram efeito negativo entre a atividade de água em altas temperatura, o que pode ter acontecido na secagem a 70 °C no presente estudo.

A capacidade antioxidante tem um comportamento de não apresentar uma grande variação no final da secagem, exceto para secagem de 40 °C. Isto indica que o tempo de

secagem influenciou positivamente no início do processo e o tempo de exposição não afetou, fato evidenciado na análise de correlação apresentado na Figura 2.

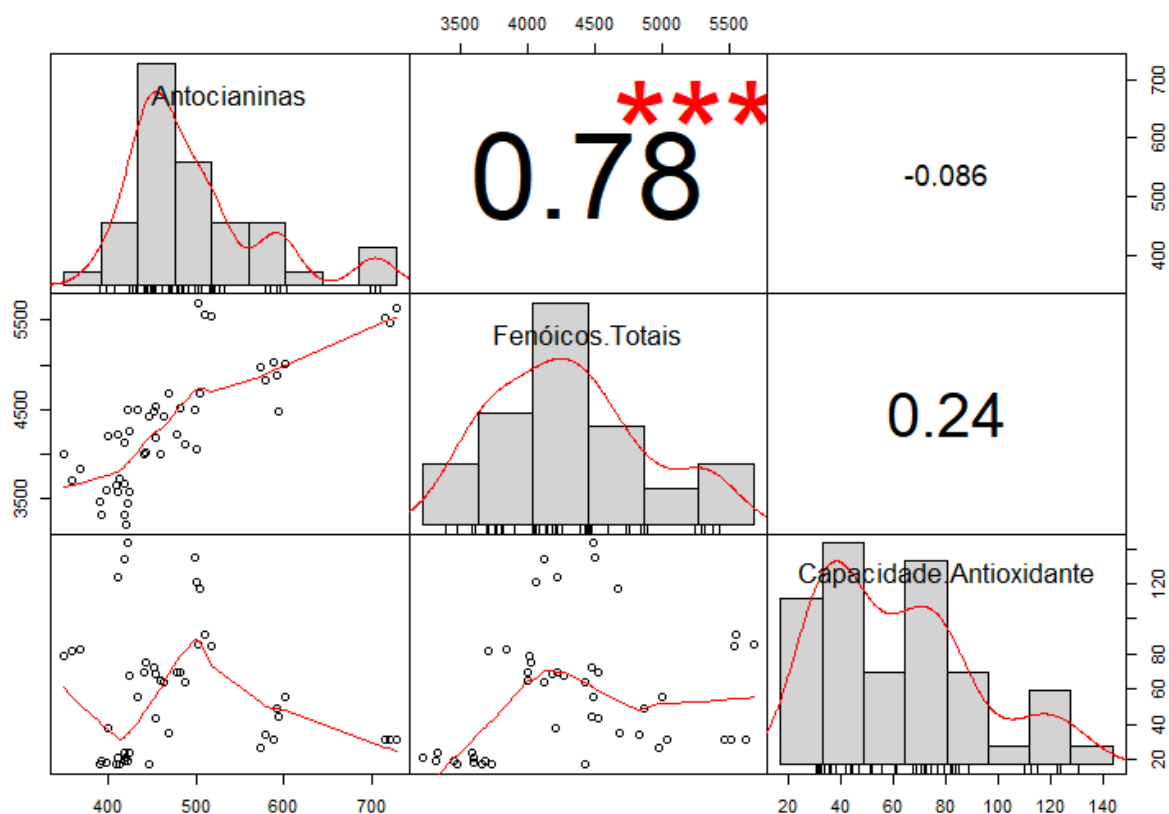


Figura 4 - Análise de correlação das antocianinas totais, fenólicos totais e capacidade antioxidantes de flores de capuchinha alaranjada. ***($p < 0,001$).

As antocianinas totais e fenólicos apresentaram uma correlação forte e significativa, entretanto, apesar de serem potentes antioxidantes, a capacidade antioxidantes apresentou correlação fraca e não significativa com estes compostos. Esse comportamento pode ser devido a presença de luteína nas flores de capuchinhas que são também potentes antioxidantes (NIIZU; RODRIGUEZ-AMAYA, 2005; NACHTIGALL; STRINGHETA; FIDELIS, 2007).

4. CONCLUSÕES

O tempo de secagem teve uma relação inversamente proporcional com a temperatura de secagem, os principais modelos matemáticos se obtiveram ajustes excelentes aos dados experimentais. O coeficiente de difusão efetiva das flores de capuchinhas apresentou uma relação direta com a temperatura de processo e foi descrita pela equação de Arrhenius apresentando energia de ativação igual a 108,17 kJ.mol⁻¹.

A secagem pôde contribuir para o aumento da extração de antocianinas e fenólicos e a capacidade antioxidante do extrato de flores alaranjadas de capuchinha. A temperatura de 50 °C por 20 minutos de secagem foi o tratamento com maior teor de antocianinas totais, para fenólicos totais foram as temperaturas de 50, 60 e 70 °C por 20, 40 e 40 minutos, respectivamente e as temperaturas de 40 e 60 °C por 80 e 180 minutos, respectivamente, para capacidade antioxidante. A secagem pode ser empregada, de forma benéfica, para auxiliar a extração de antocianinas e fenólicos de flores alaranjadas de capuchinha.

5. REFERÊNCIAS

- A.O.A.C. *Official Methods of Analysis*. EUA: Association of Official Analytical Chemists, 2000.
- ARAÚJO, C. S. et al. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de jambu durante a secagem. *XXXVII ENEMP*, 2015.
- BOTELHO, F. M. et al. Periods of constant and falling-rate for infrared drying of carrot slices. *Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental*, Campina Grande, v. 15, n. 8, 2011.
- BROUILLARD, R. Chemical structure of anthocyanins. In P. Markakis (Ed.). *Anthocyanins as food colors*, London, UK, 1982, 1–40.
- DOYMAZ, I. Thin-layer drying behaviour of mint leaves. *Journal of Food Engineering*, Davis, v.74, n.3, p.370-375, 2006.
- ELIASSON, L.; LABROSSE, L.; AHRNÉ, L. Effect of drying technique and particle size of bilberry press cake on the extraction efficiency of anthocyanins by pressurized carbon dioxide extraction. *LWT - Food Science and Technology*, v. 85, p. 510–516, 1 nov. 2017.
- FULEKI, T.; FRANCIS, F. J. Quantitative Methods for Anthocyanins. 1. Extraction and Determination of Total Anthocyanin in Cranberries. *Journal of Food Engineering*, v. 33, p. 72–77, 1968.

- IBRAHIM, P. et al. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. *Journal of Food Engineering*, v. 117, n. 4, p. 538–544, 2013.
- JIMÉNEZ, N. et al. Effect of water activity on anthocyanin degradation and browning kinetics at high temperatures (100–140 °C). *Food Research International*, v. 47, n. 1, p. 106–115, 1 jun. 2012.
- KERBSTADT, S. et al. Effect of novel drying techniques on the extraction of anthocyanins from bilberry press cake using supercritical carbon dioxide. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 29, p. 209–214, 1 maio 2015.
- NACHTIGALL, A. M.; STRINGHETA, P. C.; FIDELIS, P. C. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE LUTEÍNA. *B.CEPPA*, v. 25, p. 181–192, 2007.
- NIIZU, P. Y.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flowers and Leaves of *Tropaeolum majus* L. as Rich Sources of Lutein. *Journal of Food Science*, v. 70, n. 9, p. S605–S609, 2005.
- QIU, G. et al. Degradation kinetics and antioxidant capacity of anthocyanins in air-impingement jet dried purple potato slices. *Food Research International*, v. 105, p. 121–128, 1 mar. 2018.
- RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, v. 26, n. 9–10, p. 1231–1237, maio 1999.
- SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, v. 16, n. 3, p. 144 LP-158, 1 jan. 1965.
- SONG, C. F. et al. Effects of Four Different Drying Methods on the Quality Characteristics of Peeled Litchis (*Litchi chinensis* Sonn.). *Drying Technology*, v. 33, n. 5, p. 583–590, 2015.
- TÜRKER, N.; ERDOĞDU, F. Effects of pH and temperature of extraction medium on effective diffusion coefficient of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* var. L.). *Journal of Food Engineering*, v. 76, n. 4, p. 579–583, 1 out. 2006.
- BENVENUTI, S.; BORTOLOTTI, E.; MAGGINI, R. Antioxidant power, anthocyanin content and organoleptic performance of edible flowers. *Scientia Horticulturae*, v. 199, p. 170–177, 16 fev. 2016.
- BOUDHRIOUA, N. et al. Influence of ripeness and air temperature on changes in banana texture during drying. *Journal of Food Engineering*, v. 55, p. 115–121, 2002.
- DEFRAEYE, T. Impact of size and shape of fresh-cut fruit on the drying time and fruit quality. *Journal of Food Engineering*, v. 210, p. 35–41, 1 out. 2017.
- GARZÓN, G. A.; WROLSTAD, R. E. Major anthocyanins and antioxidant activity of *Nasturtium* flowers (*Tropaeolum majus*). *Food Chemistry*, v. 114, n. 1, p. 44–49, 1 maio 2009.

- KOIKE, A. et al. Edible flowers of *Viola tricolor* L. as a new functional food: Antioxidant activity, individual phenolics and effects of gamma and electron-beam irradiation. *Food Chemistry*, v. 179, p. 6–14, 15 jul. 2015.
- NIIZU, P. Y.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flowers and Leaves of *Tropaeolum majus* L. as Rich Sources of Lutein. *Journal of Food Science*, v. 70, n. 9, p. S605–S609, 31 maio 2006.
- PARK, K.J; YADO,M.K.M; BROD,F.P.R ; *Estudo de secagem de pêra bartlett (pyrus sp.) em fatias, Ciência e Tecnologia de Alimentos*. vol.21 no.3 Campinas Sept./Dec. 2001.
- PEREIRA, C. G. et al. Searching for new sources of innovative products for the food industry within halophyte aromatic plants: In vitro antioxidant activity and phenolic and mineral contents of infusions and decoctions of *Crithmum maritimum* L. *Food and Chemical Toxicology*, v. 107, n. Pt B, p. 581–589, set. 2017.
- PIRES, T. C. S. P. et al. Nutritional and chemical characterization of edible petals and corresponding infusions: Valorization as new food ingredients. *Food Chemistry*, v. 220, p. 337–343, 1 abr. 2017.
- QINGMING, Y. et al. Antioxidant activities of malt extract from barley (*Hordeum vulgare* L.) toward various oxidative stress in vitro and in vivo. *Food Chemistry*, v. 118, n. 1, p. 84–89, 1 jan. 2010.
- VOON, H. C.; BHAT, R.; RUSUL, G. Flower extracts and their essential oils as potential antimicrobial agents for food uses and pharmaceutical applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 11, n. 1, p. 34–55, 2012.
- ZOGZAS, N. P.; MAUROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. *Drying Technology*, Bangkok, v.14, n.10, p.2225-2253, 1996.

CONCLUSÃO GERAL

As flores vermelhas de capuchinhas apresentaram maior influência a radiação tanto solar aumentando a síntese de antocianina e diminuindo a síntese de luteína quanto da luz LED aumentando a síntese de luteína. As flores alaranjadas são as mais adaptadas a mudança de radiação. O processo de secagem apresenta pode ser utilizado como um tratamento pre extração, pois até 70 °C não apresentou degradações dos compostos. A luz LED vermelhas apresentou maior efeito na produção efetiva de ANT e LUT, independentemente da cor das flores, sendo assim, a que apresentou melhor resposta para flores de capuchinhas para um tempo de cultivo de 60 dias O aumento da síntese de ANT ocasiona em decréscimo na síntese de LUT indicados pela correlação negativa. Entretanto foi a luz LED azul aumentou a síntese de antocianinas totais para flores vermelhas e alaranjadas após 75 dias de cultivo. As flores amarelas suplementadas com luz LED apresentaram maiores teores de luteína e as flores vermelha e laranjas não apresentaram diferença significativas independentemente da qualidade da irradiação. Os teores de ANT, LUT, DPPHL e ABTSH foram as variáveis de maior impacto para a descriminalização das flores de capuchinha suplementadas ou sem suplementação ao longo do tempo de cultivo.