



Universidade Federal
de São João del-Rei

ANDREIA APARECIDA DOS ANJOS CHAGAS

**CARACTERIZAÇÃO DO TOMATE CEREJA TIPO *GRAPE* EM
DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO E ESTIMATIVA DOS
TEORES DE LICOPENO VIA MEDIDAS COLORIMÉTRICAS**

**SETE LAGOAS – MG
2022**

ANDREIA APARECIDA DOS ANJOS CHAGAS

**CARACTERIZAÇÃO DO TOMATE CEREJA TIPO *GRAPE* EM
DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO E ESTIMATIVA DOS
TEORES DE LICOPENO VIA MEDIDAS COLORIMÉTRICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del Rei, Campus Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientadora: Prof^a. Dra. Lanamar de Almeida Carlos
Coorientadores: Prof. Dr. Antonio José Steidle Neto
Prof. Dr. Ernani Clarete da Silva

**SETE LAGOAS – MG
2022**

Comitê orientador: Prof^a. Dra. Lanamar de Almeida Carlos (orientadora); Prof. Dr. Antonio José Steidle Neto (coorientador); Ernani Clarete da Silva (coorientador)

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C559c Chagas, Andreia Aparecida dos Anjos .
CARACTERIZAÇÃO DO TOMATE CEREJA TIPO GRAPE EM
DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO E ESTIMATIVA DOS
TEORES DE LICOPENO VIA MEDIDAS COLORIMÉTRICAS /
Andreia Aparecida dos Anjos Chagas ; orientadora
Lanamar de Almeida Carlos; coorientador Antonio
José Steidle Neto. -- Sete Lagoas, 2022.
75 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em
Ciências Agrárias) -- Universidade Federal de São
João del-Rei, 2022.

1. Solanum lycopersicum L. 2. Compostos
bioativos. 3. Medidas colorimétricas . 4. Licopeno.
5. Análise não destrutiva. I. Carlos, Lanamar de
Almeida , orient. II. Neto, Antonio José Steidle ,
co-orient. III. Título.

ANDREIA APARECIDA DOS ANJOS CHAGAS

**CARACTERIZAÇÃO DO TOMATE CEREJA TIPO *GRAPE* EM
DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO E ESTIMATIVA DOS
TEORES DE LICOPENO VIA MEDIDAS COLORIMÉTRICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del Rei, *Campus* Sete Lagoas, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientadora: Prof. Dra. Lanamar de Almeida Carlos
Coorientadores: Prof. Dr. Antonio José Steidle Neto
Prof. Dr. Ernani Clarete da Silva

Sete Lagoas, 20 de julho 2022.

Banca examinadora:

Prof^a. Dra. Lanamar de Almeida Carlos-UFSJ

Prof^a. Dra. Caroline Liboreiro Paiva – UFMG

Prof. Dr. Felipe Machado Trompete-UFSJ

Prof^a. Dra. Lanamar de Almeida Carlos

Orientadora

Consagre ao Senhor tudo o que você faz e os seus planos serão bem-sucedidos. (Provérbios 16:3)

AGRADECIMENTO

Quero agradecer a Deus que esteve ao meu lado e me deu força, ânimo e fé para não desistir e continuar lutando por este meu sonho. E também ressaltar que sem Ele nada disso seria possível!

Um agradecimento especial aos meus amados pais, Marlene e Dimas, que são meu ponto de apoio, que sempre sonharam e participaram de todas as conquistas da minha vida e dedicaram a mim todo apoio e carinho, pessoas a quem jamais conseguirei descrever todo amor e gratidão que sinto. Essa vitória é nossa.

Aos meus irmãos Douglas e Vanessa, a minha cunhada Amanda, pela compreensão e carinho dedicados; e aos meus sobrinhos Júlia e João César, que me ensinaram a cada dia.

À minha orientadora, Prof^a. Dra. Lanamar de Almeida Carlos, por ter plantado a semente do mestrado no meu coração durante a graduação. Pelo carinho, ensinamentos, paciência, profissionalismo, risadas, cumplicidade e confiança. Sou muito grata por tudo!

Aos coorientadores, Prof. Dr. Ernani Clarete da Silva e Antonio José Steidle Neto, pela excelente orientação, pela confiança em mim depositada, pelos ensinamentos e por todo auxílio para a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias pela oportunidade e ao corpo docente por todos os ensinamentos.

À todos os meus amigos do Laboratório de Compostos Bioativos e Conservação de Alimentos André Rocha, Barbara Schutz e Iná, pela ajuda no desenvolvimento do trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1: Tomate cereja sweet heaven tipo grape.....	19
Figura 2: Estrutura química dos carotenoides.....	24
Figura 3: Espectro visível de cores com linhas espectrais de hidrogênio como referência.....	27
Figura 4: Espaço tridimensional de cores $L^* a^* b^*$ - Modelo CIE.....	29

Capítulo 2

Figura 1: Separação das classes de maturação do tomate cereja sweet heaven tipo grape, de acordo com os dados colorimétricos.....	43
--	----

Capítulo 3

Figura 1: Calibração do colorímetro e as regiões de medições do tomate cereja sweet heaven tipo grape.....	65
Figura 2: Etapas da análise de licopeno nos tomates cereja sweet heaven tipo grape: (a) maceração da amostra com acetona pa; (b) filtragem a vácuo do extrato; (c) separação do extrato como adição de éter de petróleo; (d) solução dos pigmentos em éter de petróleo; (e) leitura no espectrofotometro a 470 nm.....	66
Figura 3: Teores de licopeno do tomate cereja sweet heaven tipo grape em função dos estádios de maturação.....	68
Figura 4: Modelos de calibração do teor de Licopeno em função da L^* , a^* , b^* e ΔE^* em tomate cereja sweet heaven tipo grape em função dos diferentes estádios de maturação.....	69
Figura 5: Validação do teor de Licopeno em função da L^* , a^* e ΔE^* em tomate cereja sweet heaven tipo grape em função dos diferentes estádios de maturação.....	72

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1: Composição de 100g de tomate cru, com sementes.....	16
Tabela 2: Atributos de qualidade para frutas e hortaliças.....	20
Tabela 3: Principais carotenoides encontrados em alimentos.....	25

Capítulo 2

Tabela 1: Intervalos dos dados colorimétricos referentes à cada classe de maturação.....	43
Tabela 2: Características físico-químicas dos tomates cereja sweet heaven tipo grape: sólidos solúveis totais (SST, °BRIX), acidez total titulável (ATT, g ac. cítrico/100g BS) e relação SST/ATT, em função dos estádios de maturação dos frutos.....	46
Tabela 3: Teor de pH em tomates cereja sweet heaven tipo grape em função dos diferentes estádios de maturação. Para os diferentes estádios de maturação estudados são apresentadas suas medianas.....	49
Tabela 4: Compostos bioativos do tomate cereja sweet heaven tipo grape em função dos estádios de maturação: compostos fenólicos (mg EAG 100g ⁻¹ BS), e flavonoides (mg 100g ⁻¹ BS).....	50
Tabela 5: Resumo descritivo dos antioxidantes em tomate sweet heaven tipo grape em função dos estádios de maturação: carotenoides totais /licopeno (µg. 100g ⁻¹ BS) e atividade antioxidante (AT) método ABTS e DPPH (µmol TE/g amostra BS). Para os diferentes estádios de maturação estudados são apresentadas suas medianas.....	52

Capítulo 3

Tabela 1: Intervalos dos dados colorimétricos referentes à cada classe de maturação.....	64
Tabela 2: Número de dados utilizados na calibração e na validação dos modelos para determinar o teor de licopeno em tomates cereja sweet heaven tipo grape em diferentes estádios de maturação.....	67

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
1. INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1 REFERENCIAL TEÓRICO	14
1.1.2 A cultura do tomate	14
1.1.3 Importância econômica	15
1.1.4 O tomate e suas características	15
1.1.5 Classificação do tomate	17
1.1.7 Atributos de qualidade pós-colheita do tomate	19
1.2 Compostos bioativos	20
1.2.1 Compostos fenólicos totais	21
1.2.2 Carotenoides	22
1.2.2.1 Licopeno	25
1.3 Capacidade antioxidante	25
1.4 Fundamentos de cor	26
1.5 Métodos não destrutivos para avaliar a maturação de frutos	27
1.6 Uso da colorimetria	27
1.7 Aspectos práticos da regressão	30
1.8 REFERÊNCIAS	32
CAPITULO 2 - ARTIGO 1	39
2 INTRODUÇÃO	41
2.1 METODOLOGIA	41
2.1.2 Matérias e Métodos	42
2.1.3 Características físico-químicas	44
2.1.4 Compostos bioativos	44
2.1.4.1 Teor total de carotenoides e licopeno	44
2.1.4.2 Compostos fenólicos totais	45
2.1.4.3 Flavonoides totais	45
2.1.5 Atividade antioxidante	45
2.2 Análise de estatística	45
2.3 RESULTADO E DISCUSSÃO	46
2.3.1 Análise físico-químico	46

2.3.2 Compostos bioativos e atividade antioxidante	50
2.4 CONCLUSÃO	54
2.5 REFERÊNCIAS	55
CAPÍTULO 3 -ARTIGO 2	60
3. INTRODUÇÃO	62
3.1 METODOLOGIA	63
3.1.1 Material e Métodos	63
3.1.2 Medida da cor instrumental.....	64
3.1.3 Medidas de pigmentos por métodos convencionais.....	66
3.1.4 Índices colorimétricos e modelos matemáticos.....	67
3.2 RESULTADO E DISCUSSÃO	68
3.3 CONCLUSÃO	73
3.4 REFERÊNCIAS	74

CARACTERIZAÇÃO DO TOMATE CEREJA TIPO *GRAPE* EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO E ESTIMATIVA DOS TEORES DE LICOPENO VIA MEDIDAS COLORIMÉTRICAS

RESUMO: O tomate é um dos frutos mais produzidos e mais consumidos no Brasil, em decorrência das características sensoriais e nutricionais. Porém, possui alta perecibilidade, o que se deve, principalmente ao estágio de maturação dos frutos, influenciando diretamente na sua vida pós-colheita e na sua escolha, por parte do consumidor. Em virtude, da grande demanda por hortaliças, de alta qualidade, surge a necessidade de adoção de técnicas alternativas, que permitam a determinação de atributos de qualidade, de forma rápida, precisa e não invasiva. Dessa forma, a colorimetria é considerada um meio alternativo eficiente e fácil para classificar e para modelar a composição química. O presente trabalho teve como objetivo, realizar uma caracterização do tomate cereja *sweet heaven*, tipo *grape*, em diferentes estádios de maturação e uma estimativa dos teores de licopeno, via análise colorimétrica. Foram utilizados para o experimento, tomates cereja da variedade *sweet heaven* tipo *grape*, cultivados em ambiente protegido no sítio Avestruz no Cerrado, localizado na Zona Rural de Araçaí-MG. No Capítulo 2 foram avaliados os conteúdos dos compostos bioativos (compostos fenólicos totais, carotenoides totais, licopeno e flavonoides), a capacidade antioxidante e as características físico-químicas (pH, sólidos solúveis totais, acidez total titulável e a relação SST/ATT). Os resultados mostraram uma redução do teor da acidez total titulável, um aumento no pH, dos sólidos solúveis totais e da relação SST/ATT. As amostras coletadas no estágio maduro, apresentaram as maiores concentrações dos compostos bioativos e capacidade antioxidante. Apesar de apresentarem características superiores, em relação aos demais estádios, a colheita dos tomates nessa fase, foi comprometida, em virtude da sua perecibilidade ao manuseio. No Capítulo 3, estimando os níveis de correlação entre os teores de licopeno, presentes em tomates, determinados via espectrofotometria, com os valores dos componentes de cromaticidade (L^* , a^* , b^*) e ΔE^* , obtidos via medidas colorimétricas, o modelo de calibração, do parâmetro b^* , apresentou baixa correlação ($R^2 = 0,3084$), mediante a isso, o mesmo não deve ser usado para prever o teor de licopeno dos tomates. Ao contrário, os modelos para os parâmetros L^* , ΔE^* e a^* apresentaram na validação, baixos valores de Erro Absoluto Médio (EAM) e valores do Índice de Concordância de Willmott (d), próximos a 1 (0,983; 0,993 e 0,994) respectivamente, valores esses considerados muito satisfatórios. Estes resultados confirmaram que é possível estimar indiretamente, com relativa precisão e exatidão, o teor de licopeno, em frutos intactos do tomateiro, em diferente estágio de maturação, a partir de valores de cromaticidade, sem a necessidade de análises laboratoriais complexas e sem uso de reagentes químicos.

Palavras chave: *Solanum lycopersicum* L. Compostos bioativos. Cultivo em estufas.

CHARACTERIZATION OF GRAPE-TYPE CHERRY TOMATOES AT DIFFERENT STAGES OF MATURATION AND ESTIMATION OF LYCOPENE CONTENT VIA COLORIMETRIC MEASUREMENTS

ABSTRACT: Tomato is one of the most produced and consumed fruits in Brazil, due to its sensory and nutritional characteristics. However, it has high perishability, which is mainly due to the ripening stage of the fruits, directly influencing their post-harvest life and consumer choice. Due to the great demand for high quality vegetables, the adoption of alternative techniques that allow the determination of quality attributes quickly, accurately and non-invasively is required. In this context, colorimetry is considered an efficient and easy alternative way to classify and model chemical composition. The present work aimed to characterize the grape-type cherry tomato of Sweet Heaven variety at different stages of maturation, estimating the lycopene contents from colorimetric analysis. Grape-type cherry tomatoes of the Sweet Heaven variety were used for the experiment, grown in a greenhouse at the Avestruz no Cerrado farm, located in the rural area of Araçáí-MG. In Chapter 2 the contents of the bioactive compounds (total phenolic compounds, total carotenoids, lycopene and flavonoids), the antioxidant capacity and the physicochemical characteristics (pH, total soluble solids, total titratable acidity and SST/ATT ratio) were evaluated. The results showed a reduction in the total titratable acidity, an increase in pH, total soluble solids and SST/ATT ratio. The samples collected in the mature stage showed the highest concentrations of bioactive compounds and antioxidant capacity. Despite presenting superior characteristics in relation to the other stages, the harvest of tomatoes at this stage becomes compromised due to their perishability to handling. In Chapter 3, the estimates of the correlation levels between the lycopene content in tomatoes, determined from spectrophotometry, and the values of the chromaticity components (L^* , a^* , b^*) and ΔE^* , obtained from colorimetric measurements, for the parameter b^* of the calibrated model, showed a low correlation ($R^2 = 0.3084$). Therefore, it should not be used to predict the lycopene content of tomatoes. On the other hand, the models based on the parameters L^* , ΔE^* and a^* presented low values of Mean Absolute Error (MAE) and Willmott Agreement Index (d) close to 1 (0.983; 0.993 and 0.994) respectively, which were considered very satisfactory. These results confirm that it is possible to indirectly estimate, with relative precision and accuracy, the lycopene content in intact tomato fruits at different stages of maturation from chromaticity values, without the need of complex laboratory analyzes and without using chemical reagents.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L. Bioactive compounds. Cultivation in greenhouses.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO GERAL

O tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) é uma das hortaliças que ocupa lugar de destaque, na mesa do consumidor, principalmente na sua forma *in natura*, estando presente na alimentação, de grande parte da população brasileira (MADUREIRA, 2019). Dentre a família dos tomates, o tomate cereja da variedade *sweet hevean* tipo *grape*, tem se destacado, devido à coloração vermelha intensa, mini formato arredondado, e, com elevados teores de sólidos solúveis e de licopeno, muito utilizados na ornamentação de pratos (LIU, 2018).

Devido ao grande teor de licopeno, pigmento responsável pela coloração vermelha, e também um antioxidante, o tomate do grupo cereja tipo *grape* atrai consumidores pelo sabor adocicado, servindo como aperitivo na culinária. A inovação de agricultores na produção de frutos cereja tem tido boa aceitação na comercialização, utilizados principalmente na ornamentação de pratos exóticos (TRANI et al., 2004).

O tomate é um fruto climático, sua vida pós-colheita é bastante curta, dependendo do estágio de maturação em que é colhido (GUERREIRO et al., 2016). Segundo Basso et al. (2019), esse fato se deve à alta produção de etileno, realizada pelos frutos climáticos, que por sua vez, ocasiona uma série de processos fisiológicos, que promovem a maturação acelerada, a senescência e outras alterações que afetam a qualidade dos frutos.

Independentemente de quão apreciado seja um tomate, o consumidor valoriza a qualidade, que se expressa especialmente pela textura, pelo sabor, pela cor e pelo aroma (ALENCAR, 2017). Segundo Pinheiro et al. (2017), o alcance dessas características se estende, desde a plantio até a colheita, sendo a colheita um ponto crítico para garantir a integridade do tomate, atendendo às demandas e às expectativas dos consumidores.

Nas culturas de tomate, as perdas pós-colheita, podem ser quantitativas ou qualitativas. As perdas qualitativas como: deterioração do fruto colhido, amolecimento prematuro, desenvolvimento de cor irregular, desenvolvimento de sabor estranho e injúria mecânica o que prejudicam parâmetros, como a aceitabilidade do consumidor, o estado nutricional da fruta e a renda financeira aos produtores (ARAH et al., 2015).

De modo geral, a classificação pós-colheita, do tomate, é feita de forma manual, através de inspeções visuais. Dentro do ciclo produtivo de hortaliças, o excesso de tarefas manuais pode comprometer a saúde dos agricultores, por exigir esforços físicos significativos, posturas desconfortáveis e movimentos repetitivos, além da pressão pela redução do tempo gasto nas

atividades. Segundo Jarimopas & Jaisin (2008), esses esforços podem acarretar no aparecimento de distúrbios musculares, esqueléticos e estresse, em decorrência de uma jornada de trabalho exaustiva, bem como no aumento da probabilidade de erros, nas atividades de seleção e de classificação.

Em razão da crescente demanda, por hortaliças de alta qualidade, surge a necessidade da adoção de técnicas alternativas, que permitam a determinação de atributos de qualidade, de forma rápida, precisa e não invasiva, principalmente no sentido de reduzir perdas quantitativas e qualitativas de produção (BECKLES, 2012). Dessa forma, a colorimetria é considerada um meio alternativo eficiente e fácil, para classificar e para modelar a composição química de alguns frutos, em especial, o tomate.

Diante do exposto, os objetivos deste estudo foram realizar uma caracterização do tomate cereja *sweet heaven* tipo *grape*, em diferentes estádios de maturação, e estimar os teores de licopeno, via análise colorimétrica, em experimentos distintos.

1.1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1.2 A cultura do tomate

O tomateiro (*Solanum lycopersicum*) é uma planta que teve origem na América do Sul, mais precisamente nos países Chile, Peru e Equador (SILVA et al., 2014). Apesar de ser originário dessa região, sua ampla domesticação ocorreu no México, por meio das tribos indígenas primitivas, sendo considerado como centro de origem secundário (ALVARENGA, 2013).

A introdução do tomate, na Europa, foi realizada pelos espanhóis e sua aceitação como cultura cultivada foi relativamente lenta, já que na região de origem, seus frutos eram cultivados como planta ornamental, pois eram considerados venenosos, devido à sua cor avermelhada (SILVA et al., 2013). Na Itália, em 1554, Matthiolus utilizando uma espécie de tomate de cor amarela, foi o grande responsável pela primeira referência de aceitação, para o consumo humano do tomate. Ao final do século XVI, o fruto de cor avermelhada propagou-se por toda a Europa, porém, somente após a revolução industrial, no século XIX, seu cultivo foi favorecido pela produção e pelo processamento de alimentos em escala industrial (PADOVANI, 1986).

No Brasil, a planta foi introduzida por imigrantes europeus, no final do século XIX, tendo uma ampla difusão e incremento no consumo, por volta de 1930 (PERIPOLLI, 2019). O tomate é uma planta dicotiledônea, pertencente à família da *Solanaceae*, ao gênero *Lycopersicon*. Segundo Silva et al. (2014), o tomateiro é uma planta herbácea, de caule flexível

e piloso, cuja arquitetura natural lembra uma moita de ramificação lateral. Suas folhas são alternadas com bordas serrilhadas. Apresentam flores hermafroditas, o que aumenta a taxa de autopolinização, e, de coloração amarela.

Além disso, a cultura do tomateiro requer condições climáticas específicas para seu desenvolvimento, sendo que a temperatura considerada ótima, para a sua produção, varia em torno de 21 e 28°C, durante o dia, e 15 e 20°C, durante a noite (FERNANDES et al., 2018). Quando expostas a altas temperaturas, as plantas sofrem estresse térmico, resultando em diminuição da liberação e da germinação de pólen, diminuição da fixação de frutos e da ocorrência de frutos pequenos (FONTES & SILVA, 2005).

1.1.3 Importância econômica

O tomate é uma das espécies de maior importância, em termos econômico e social, devido ao rendimento e à geração de empregos. Por se adaptar bem a qualquer ambiente, é cultivado em grande parte do mundo, sendo China, Estados Unidos e Índia os maiores produtores. A China está em primeiro lugar, e é responsável por 31% da produção de tomate, sendo em segundo, a Índia com 11% e em terceiro, os Estados Unidos, que produz 8% do volume global (FAO, 2019).

O Brasil é o terceiro maior produtor de tomate no continente americano e o décimo no *ranking* mundial, com produção de 4,1 milhões de toneladas, em 57,1 mil hectares (FAO, 2020). Os principais estados brasileiros, responsáveis por esta produção, são Goiás, São Paulo e Minas Gerais. Esses estados se destacam, em virtude do clima favorável à produção desse importante fruto, e, por estarem localizados perto de grandes cidades, com elevado potencial de consumo. Em 2019, Minas Gerais obteve uma produção de 572.273 mil toneladas, representando uma participação média de 12%, com rendimento médio de 73 tha^{-1} (IBGE, 2019). Ressalta-se que esta produção é o somatório da produção de tomate para processamento industrial e para tomate de mesa (QUINTANILHA, 2020).

Atualmente, a cultura do tomate corresponde a maior fonte de produção, da indústria hortícola brasileira, e Goiás, é a referência nacional de cultivo, e o principal centro de produção nacional do país. De acordo com o Anuário Hortifrúti 2020 (2019), somente em 2019, o Brasil plantou mais de 58.000 hectares, de tomate comestível, com vendas anuais no varejo acima de 9 bilhões de reais.

1.1.4 O tomate e suas características

A composição dos frutos pode variar, devido a vários fatores pré e pós-colheita, como origem, genética, condições de cultivo, condições do solo, condições climáticas e o estágio de amadurecimento (NASCIMENTO, 2006).

Os frutos e hortaliças desempenham um papel importante na alimentação humana, principalmente, por serem ricos em vitaminas, em minerais e em fibras dietéticas (CHITARRA & CHITARRA, 2005). O valor nutritivo muda, com o avanço da maturação, tornando-se maior, apesar de haver uma variação na proporção dos nutrientes. A água e os carboidratos são os constituintes mais abundantes, em frutos e em hortaliças. Do ponto de vista nutricional, são considerados as vitaminas e os minerais, como também os açúcares solúveis (frutos), e polissacarídeos (amido, em alguns frutos e hortaliças), como fontes energéticas. No entanto, outros polissacarídeos (celulose, hemicelulose e lignina) têm relevância por constituírem as fibras dietéticas.

Em geral, o fruto fresco apresenta na sua composição, um baixo valor calórico e elevado teor de cálcio e de vitamina C (Tabela 1). Os açúcares representam cerca de 65%, dos sólidos solúveis totais. Com a maturação, a clorofila é degradada e ocorre síntese de xantofila e β -caroteno, atingindo a cor vermelha posteriormente, em virtude da acumulação de licopeno (GIORDANO & RIBEIRO, 2000).

A cor verde, dos tomates não maduros, se deve à presença de clorofila. Durante o amadurecimento dos frutos, ocorre a perda da cor verde, devido à hidrólise da estrutura de clorofila, que é causada principalmente, pelas mudanças de pH, pela presença de sistemas oxidantes e pela atividade de clorofilases (GIORDANO & RIBEIRO, 2000).

Tabela 1: Composição de 100g de tomate cru, com sementes.

Umidade	95,1 %	Manganês	0,07mg
Caloria	15 kcal	Fósforo	29 mg
Proteína	1,1 g	Ferro	0,2 mg
Colesterol	NA	Potássio	222 mg
Carboidrato	3,1g	Cobre	0,04 mg
Fibra Alimentar	1,2g	Zinco	0,1 mg
Cálcio	7 mg	Tiamina	0,02mg
Magnésio	138 mg	Vitamina C	21,2 mg

Fonte: TACO, 2011.

O consumo do tomate é recomendado, pelos nutricionistas, por se constituir em um alimento rico em constituinte bioativo, o licopeno. O crescente interesse, na atividade antioxidante do carotenoide licopeno, se deve à alegação de que este carotenoide combate os radicais livres, retarda o envelhecimento e pode proteger contra o câncer, especialmente, o de próstata (Willcox, 2003). Além disso, seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis.

1.1.5 Classificação do tomate

Com o avanço da tecnologia nos últimos anos, o número de cultivares plantadas em escala comercial, na região centro-sul do Brasil, teve um aumento considerável sendo necessário assim, a adesão a um padrão de comercialização. Até no início dos anos 70, as cooperativas eram responsáveis pela classificação e pela padronização dos tomates, destinados a comercialização, porém esse procedimento era realizado, de acordo com algumas características do fruto como: comprimento, diâmetro, coloração, brilho e entre outros. A partir dessa época, foi definida uma norma oficial para padronização e para classificação de tomates. Segundo a legislação vigente, Portaria do MAARA nº 553/95 (BRASIL, 1995) e pela proposta, no Anexo XVII, da Portaria SARC nº 085/02 do MAPA (BRASIL, 2002), o tomate de mesa é classificado em:

- Grupos: de acordo com o formato do fruto;
- Subgrupos: de acordo com a coloração do fruto;
- Classes ou Calibres: de acordo com o tamanho do fruto;
- Grau de Seleção: de acordo com a qualidade do fruto.

Conforme o grau de maturação, o tomate é classificado em verde maduro, pintado, rosado, vermelho e vermelho maduro (BRASIL, 1995). Porém, cada um desses estádios retrata maior quantidade de licopeno, onde o verde maduro: aponta o início do amarelecimento na região apical do fruto; pintado: quando as cores amarelas, rosa ou vermelho encontram-se entre 10% a 30%, da superfície do fruto; rosado: quando 30% a 60% do fruto encontra-se vermelho; vermelho: quando o fruto apresenta entre 60% e 90%, da sua superfície vermelha; e vermelho maduro: quando mais de 90%, da superfície do fruto, encontra-se vermelha (LOLI et al., 2018).

De acordo com Filgueira (1982), a cultura do tomateiro possui cinco grupos principais, com diferentes características dos frutos: Santa Cruz, Roma, Quadrado, Cereja, Caqui ou Maçã.

Os mini tomates, (*Solanum Lycopersicum* var. *cerasiforme*) cv. híbrido *sweet heaven* tipo *grape*, usados normalmente *in natura*, são classificados como produto *gourmet*.

1.1.6 Tomate *Sweet heaven* tipo *grape*

Das diversas variedades agricultadas em território nacional, destaca-se o “*sweet heaven*”, tomateiro do grupo dos cerejas, introduzido recentemente no mercado nacional. Seu fruto é conhecido pelo sabor diferenciado de característica adocicada, geralmente são consumidos *in natura* ou na elaboração de pratos da gastronomia contemporânea, razão pelo qual houve um aumento de seu cultivo e despertou o interesse dos produtores (ALMEIDA et al., 2020).

Essa cultivar foi desenvolvida pela empresa *Sakata Seed Corporation*, com sede no Japão e filial no estado de São Paulo, em Bragança Paulista. Além disso, possui uma alta resistência e tolerância a doenças e pragas, melhor adaptabilidade aos diferentes sistemas de produção (campo aberto, estufa, orgânico, climatizado, etc.) (MARQUES, 2019).

Segundo Filgueira (2008), o tomateiro é considerado uma planta ornamental, de geometria específica apresentando fruto de tamanho pequeno e de coloração vermelha intensa, tanto na pele quanto na polpa do fruto, conforme a Figura 1.

Na planta, são encontrados dispostos em cachos grandes, sendo que cada cacho contém cerca de oito a dezoito mini tomates. Eles dispõem de dois lóculos, apresentam baixo índice de acidez, com pH médio de 4,69 e elevado teor de sólidos solúveis (mínimo de 6 °Brix) (PRECZENHAK et al., 2014). Os frutos além de muito saborosos são fonte de vitaminas A, C, E, B1, B2, sais minerais como o potássio e o magnésio, proteínas, carboidratos e açúcares, também é rico em licopeno (LUTEROTTI et al., 2015).

No entanto para atender as exigências do consumidor, os frutos não devem conter deformidades, além de possuírem pequeno tamanho, sabor adocicado e principalmente, coloração uniforme e avermelhada.



Figura 1: Tomate cereja *sweet heaven* tipo *grape*.

Fonte: (Arquivo pessoal).

1.1.7 Atributos de qualidade pós-colheita do tomate

A qualidade é um aspecto de grande importância, desde o cultivo até o consumo final dos produtos. Os requisitos de qualidade de hortícolas, têm importância variada, conforme os interesses de cada parte da cadeia de comercialização, ou seja, desde o produtor até o consumidor. Os produtores dão prioridade à aparência, ao rendimento de produção e à resistência à doenças. No entanto, os distribuidores e os comerciantes também têm a aparência, como atributo mais importante, porém enfatizam a firmeza e o potencial de conservação. Por sua vez, os consumidores dão ênfase aos atributos sensoriais, ao passo que o setor industrial valoriza o rendimento da matéria-prima, a cor, o “flavor”, a textura, o valor nutricional e a segurança (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Para Chitarra & Chitarra (2005), os atributos de qualidade podem ser agrupados em categorias (Tabela 2), devendo ser considerados em conjuntos, não só para satisfazer a necessidade do consumidor, como também, para proteção da saúde pública.

Tabela 2: Atributos de qualidade para frutas e hortaliças.

Atributos	Componete
Sensorias	
Aparência	Tamanho: dimensões, peso, volume Forma: diâmetro longitudinal x transversal, uniforme Cor: intensidade, luminosidade Brilho: lustre, aparência externa Defeitos: externos e internos (morfológicos, físico x mecânicos, fisiológicos, patológicos e entomologicos)
Textura	Firmeza, dureza, maciez, fragilidade, suculência, granulosidade, resistência e fibrosidade.
"Flavor" (sabor e aroma)	Doçura, acidez, adstringência, amargor, aroma (voláteis), sabores e odores estranhos
Rendimento	Relação entre casca: polpa, caroço Volume de suco, número de sementes Índice tecnológico (suco: sólidos solúveis)
Valor nutritivo	Carboidratos, proteínas, lipídeos, vitaminas, minerais.
Segurança	Substâncias tóxicas naturais, contaminates (resíduos, metais), micotoxinas, micorganismos patogênicos ao homem.

Fonte: CHITARRA & CHITARRA (2005).

O tomate caracteriza-se por ser um fruto climatérico e seu amadurecimento, normalmente, se inicia na porção distal do fruto, migrando para as regiões vizinhas pelo processo de difusão livre, até que o processo de amadurecimento atinja todo o fruto (OLIVEIRA et al., 2015). Esse efeito é claramente percebido pela mudança de coloração no fruto, que se inicia no gel locular, ao redor das sementes, e depois migra para o pericarpo, progressivamente (FERNANDES, 2018).

Após a colheita, o tomate apresenta-se como um fruto de vida útil curta, que necessita de alguns métodos que estendam a sua conservação, por um período de tempo maior. As alterações que ocorrem neste período, podem estar relacionadas a fatores como respiração, produção de etileno e crescimento microbiano (YE et al., 2015).

O principal fenômeno fisiológico que influencia, na preservação e na qualidade das frutas e das hortaliças, após a colheita, é a respiração, pois quando a fruto ainda está ligada à planta, o processo de fotossíntese fornece o oxigênio necessário, para o desenvolvimento dos nutrientes que são transferidos para o fruto. E após colhido, este não tem mais o fornecimento de nutrientes, mas permanece vivo e suas transformações químicas naturais continuam (GOYETTE

etal., 2012). De acordo com Chitarra & Chitarra (2005), os frutos climatéricos, como o tomate, utilizam suas próprias reservas de substratos ou de compostos orgânicos, que foram acumulados durante o crescimento e a maturação, para continuar o seu processo metabólico.

1.2 Compostos bioativos

Segundo Wang et al. (2016), compostos bioativos é uma denominação dada para nutrientes e para não nutrientes ativos, em alvos fisiológicos específicos, que interferem nos processos patológicos de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT). Dentre os fitoquímicos, destacam-se os não nutrientes ativos, como carotenoides (licopeno, fitoeno e β -caroteno) e polifenóis (flavonoides, flavanonas e flavonas), esses, por sua vez, estão presentes em quantidade significativa nos tomates (NAVARRO GONZÁLEZ, GARCIA ALONSO & PERIAGO, 2018).

Portanto, o efeito protetor desses alimentos está diretamente relacionado à presença de componentes bioativos, como a vitamina C, a vitamina E e de fitoquímicos, com ação antioxidante, dentre os quais se destacam os compostos fenólicos, o β -caroteno, o licopeno e vários outros carotenoides (DEUS et al., 2019).

Os compostos bioativos, encontrados em diversas plantas, possuem atividades biológicas importantes, as quais agregam valor comercial às mesmas. As plantas apresentam a capacidade de biossintetizar essas substâncias, que desempenham diversas funções, como por exemplo: proteção contra predadores, atratores voláteis, fornecimento de cor às plantas - facilitando a polinização, dentre outras. Além disso, apresentam grande importância para a adaptação e para a propagação das espécies vegetais (TAIZ et al., 2013).

1.2.1 Compostos fenólicos totais

As plantas produzem uma grande variedade de metabólitos secundários que contêm pelo menos um grupo fenol, ou seja, um grupo hidroxila funcional ligado diretamente a um anel aromático (COZZOLINO, 2012). Esse grupo é bastante heterogêneo, ou seja variam estruturalmente de fenólicos simples, como por exemplo os ácidos fenólicos, até moléculas com elevado grau de polimerização (polifenóis) (SINGH et al., 2017).

Os fenóis são compostos que apresentam atividade antioxidante contra os radicais livres, estando diretamente relacionada as propriedades redox dos grupos hidroxil e a sua relação com as diferentes partes da estrutura química (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Existem mais de 8000 compostos pertencente a este grupo de fitoquímicos. Segundo Dreosti (2000), estes compostos podem estar localizados em várias partes das plantas, como

sementes, frutos, folhas, casca e raiz. Além disso, esses compostos desempenham um importante papel nas plantas pois auxiliam seu crescimento e reprodução, agindo como agentes antipatogênicos, contribuindo na pigmentação, adstringência e estabilidade oxidativa (JACQUES & ZAMBIAZI, 2011).

A ingestão de compostos fenólicos beneficia o organismo em diferentes funções vitais. As principais propriedades bioativas dos compostos fenólicos envolvem suas capacidades anti-inflamatória, antiviral, antioxidante, antisséptico, neuroprotetor, analgésico, cardioprotetor e anti-hipertensivo (FERREIRA et al., 2017).

Os flavonoides representam um dos principais grupos de pigmentos vegetais de ampla distribuição na natureza. Sua presença nos vegetais pode estar relacionada com funções de defesa e de atração de polinizadores além de serem importantes antioxidantes, com capacidade de inibir a peroxidação lipídica e sequestrar radicais livres (SANGI et al., 2017). Porém, suas concentrações podem alterar devido à influência de diversos fatores tais como: espécie, variedade, clima, grau de maturação pós-colheita e condições de armazenamento. São formados a partir da combinação de derivados sintetizados da fenilalanina (via metabólica do ácido chiquímico) e ácido acético (VERRUCK et al., 2018).

Após a clorofila, as antocianinas são o mais importante grupo de pigmentos de origem vegetal, compreendem o maior grupo de pigmentos solúveis em água do reino vegetal e são encontradas em maior quantidade nas angiospermas (DE MORAIS et al., 2021). São responsáveis por conferir coloração laranja, rosa, escarlate, vermelha, violeta e azul nas pétalas de flores e nos frutos de vegetais superiores, podendo também ser encontrados em outras partes das plantas, como raízes e folhas (KONCZAK et al., 2005).

Há uma grande variedade de antocianinas distribuídas em fontes diversas na natureza sendo reportadas a identificação e caracterização de cerca de seiscentas moléculas, sendo as mais comuns as derivadas de três pigmentos básicos, a saber pela pionidina, cianidina e delphinidina (GONÇALVES et al., 2015).

1.2.2 Carotenoides

Os carotenoides são um grupo de pigmentos naturais, que possuem coloração que variam do amarelo ao vermelho, com exceção dos carotenoides fitoeno e fitoflueno, que são incolores (MESQUITA et al., 2017). São encontrados em tecidos fotossintéticos (folhas verdes) e não fotossintéticos (frutos, flores, semente e raízes), algas, bactérias, fungos e leveduras (YUYAMA et al., 2007). São compostos lipossolúveis, os quais executam importante papel no

processo de fotossíntese, atuando como captador de energia e como protetor contra oxidação (NORNBERG et al., 2022).

De acordo com Ribeiro & Seravalli (2004), os carotenoides estão presentes, principalmente, em plantas que têm estrutura denominada de cloroplastos e estes por sua vez, estão sempre acompanhados das clorofilas. Durante o envelhecimento de hortaliças ou no amadurecimento de frutos, acontece a diminuição e, posteriormente, o desaparecimento das clorofilas, que quando presentes nos vegetais, predominam, camuflando a cor dos demais pigmentos. Porém, no decorrer do processo de amadurecimento dos frutos, os cloroplastos se transformam em cromoplastos; e diante disso, a síntese de novos carotenoides pode ser estimulada (BOBBIO & BOBBIO, 2003).

O papel mais proeminente dos carotenoides, na dieta de seres humanos e de outros animais, é sua capacidade de servir como precursor da vitamina A. A vitamina A é fundamental para a diferenciação celular, para a visão, para o crescimento ósseo, para a reprodução e também, para a integração do sistema imunológico, uma vez que sua deficiência, pode resultar em diversos danos à saúde, como anemia e cegueira (COSTA & MATIAS 2014).

Atualmente, são conhecidos mais de 600 carotenoides, porém apenas 50 são precursores da vitamina A, entre eles, o β -caroteno é o mais abundante nos alimentos, e o mais importante, tanto em termos de biopotência (a qual é atribuída 100% de atividade), possuindo a maior atividade provitamínica A, quanto pela sua larga ocorrência em alimentos (YUYAMA et al., 2007). Mas outros carotenoides, como o α -caroteno e o β -crytoxantina (Figura 2), também possuem atividade provitamínica A (50%).

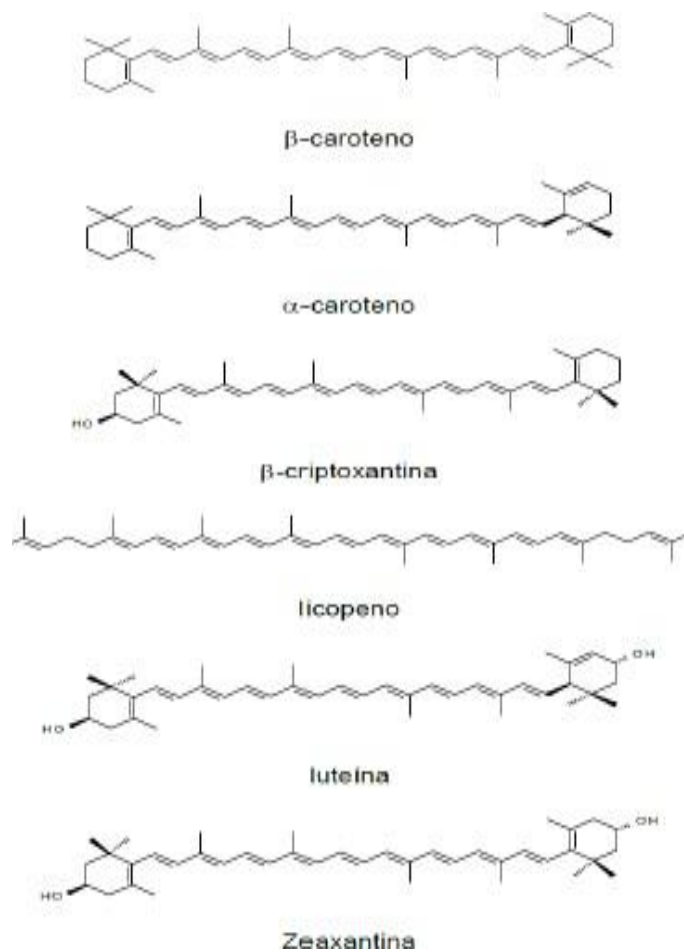


Figura 2: Estrutura química dos carotenoides.

Fonte: MELÉNDEZ-MARTÍNEZ et al., 2004.

Os carotenoides são comumente encontrados em alimentos de origem vegetal (Tabela 3), como por exemplo o licopeno presente em tomates, goiaba, melancia, α e o β -caroteno em cenouras, abóboras; manga, e a luteína e a zeaxantina em milho. Também podem ocorrer em vegetais folhosos, que na sua maioria são verdes devido a presença da clorofila (SILVA JUNIOR et al., 2010).

Tabela 3: Principais carotenoides encontrados em alimentos.

Carotenoides	Fontes
α - caroteno	Cenoura
β -caroteno	Cenoura, manga, abóbora
Luteína	Gema de ovo
Criotoxantina	Mamão, páprica, milho amarelo
Zeaxantina	Milho, gema de ovo
Crocina	Açafrão
Bixina	Urucum
Capsantina	Pimenta vermelha
Violaxantina	Amor-perfeito
Licopeno	Tomate, melância

Fonte: Adaptado de BOBBIO & BOBBIO, 2003.

No que diz respeito à composição dos carotenoides presentes no tomate, o mesmo pode ser afetado por diversos condicionantes como: o tipo de clima e local geográfico de produção, tipo de cultivar e variedade do genótipo, variação sazonal, colheita e pós colheita, maturação, processamento e armazenamento (PREEDY & WATSON, 2008).;

1.2.2.1 Licopeno

O licopeno é um carotenoide, sem a atividade pró-vitamina A, lipossolúvel, constituído por onze ligações conjugadas, e duas ligações duplas não conjugadas. É considerado como o carotenoide, que possui maior capacidade sequestrante do oxigênio *singlete*, possivelmente, em razão da presença das duas ligações duplas, não conjugadas, o que lhe confere maior reatividade (KRINSKY, 2001).

Segundo Ranvee; Patil & Sahoo (2013), o licopeno apresenta uma elevada capacidade antioxidante, o que permite proteger dessa forma, as células dos danos oxidativos, e por sua vez, prevenir e reduzir a ocorrência de doenças crônicas, como vários tipos de câncer, doenças degenerativas, envelhecimento, entre outros.

É um pigmento que se encontra presente em diversos frutos, como no tomate, na melancia, laranja, na papaia, entre outros, e tem, múltiplas aplicações em diversas áreas (POOJARY & PASSAMONTI, 2015). Este composto é lipossolúvel e termoestável, e é responsável pela cor vermelha do tomate, cor essa, que é usada como indicador da qualidade

(STRATI & OREOPOULOU, 2014).

O licopeno, como os demais carotenoides, se encontra em maiores quantidades na casca dos alimentos, aumentando, consideravelmente, durante o seu amadurecimento. Sua concentração é maior nos alimentos produzidos em regiões de climas quentes (RODRIGUEZ-AMAYA, 1996).

De acordo com Lourenço (2017), o licopeno é o carotenoide que se encontra em maior quantidade no tomate (0,72- 20 mg/100 g de tomate), em relação aos outros carotenoides, o que compreende a cerca de 80-90% do total de carotenoides. Porém, a concentração de licopeno no tomate, depende de muitos fatores como: variedade, fase de maturação, cultivo, condições de crescimento e do processamento (AMIRI-RIGI & ABBASI, 2016).

1.3 Capacidade antioxidante

Os antioxidantes são compostos que possuem o potencial de neutralizar os radicais livres, retardando ou mesmo inibindo, a sua ação oxidativa, e estão em constante atividade nos organismos vivos, mas necessitam estar em quantidades suficientes, para neutralizar os efeitos tóxicos, dos radicais livres, que são permanentemente produzidos (BECKER & FRICKE, 2002).

Segundo Niki (2010), há diversas espécies de antioxidantes, e estes podem ser classificados, de acordo com os mecanismos associados: preventivos, captadores, reparadores e de adaptação. Os antioxidantes preventivos, constituem a primeira linha de defesa do organismo, contra a formação de espécies reativas de oxigênio (EROS), enquanto os antioxidantes captadores, funcionam como a segunda linha de defesa, removendo rapidamente espécies reativas, impedindo o ataque a várias moléculas.

Os antioxidantes reparadores operam numa terceira linha de defesa do organismo, atuando na reparação de lesões, eliminando resíduos ou reconstituindo funções perdidas. Por último, os antioxidantes de adaptação, que constituem a quarta linha de defesa, exercem uma função de adaptação, em que cada antioxidante é produzido e transferido na quantidade necessária para as posições adequadas (LUTEROTTI et al., 2015).

1.4 Fundamentos de cor

A cor é um aspecto do ambiente, que é captada quando há luz. Segundo García Santillan (2008), a luz é constituída por ondas eletromagnéticas, que se propagam a uma velocidade de 300 mil km/s e que distinguem-se uma da outra, pelo seu comprimento, proporcionando vários

tipos de luz, alguns dos quais, são percebidos pelo olho humano, que mede entre 380 e 770 nanômetros, como representada na Figura 3.

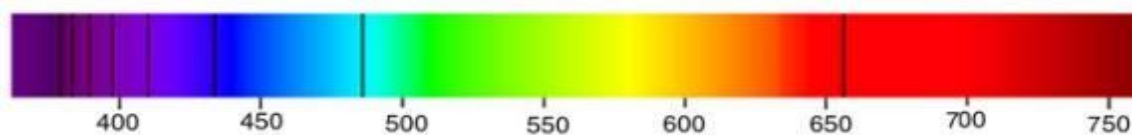


Figura 3: Espectro visível de cores com linhas espectrais de hidrogênio como referência.

Fonte: MALACRIA (2011).

As cores, captadas pelo olho humano, podem ser recriadas por meio da associação de três cores, logo, chamadas de cores primárias. No entanto, as cores primárias são aquelas que combinando, fornecerão todas as cores do espectro visível. Há dois sistemas de cores primárias, que são cores luz (síntese aditiva) e cores de pigmento (síntese subtrativa). As cores primárias da luz são vermelho, verde e azul, e são emitidas por luzes (celulares, televisores, computadores, etc.), que podem criar e compor a luz branca (CHACON, 2022).

De acordo com García Santillán (2008), essas cores são consideradas síntese aditiva, e as associações parciais dessas luzes, dão origem às cores do espectro visível. As cores pigmento são compostas pelos pigmentos magenta, ciano e amarelo, sendo que a combinação desses três pigmentos, resulta na cor preta, a cor mais escura e com a menor quantidade de luz, por isso, considerada síntese subtrativa.

1.5 Métodos não destrutivos para avaliar a maturação de frutos

A avaliação da qualidade do tomate, na colheita, antes fundamentada em uma escala visual da cor, da pele e do tamanho, atualmente se baseia nas características externas e internas aos frutos, como: firmeza, coloração, aroma, sabor, teor de sólidos solúveis, acidez total titulável, relação SST/ATT, pH, açúcares redutores, emissão de compostos voláteis aromáticos e etileno, respiração, pectinas solúveis, teores de pigmentos como clorofila, carotenoides e/ou de flavonoides, entre outros (AULAR & NATALE, 2013). No entanto, essas características são avaliadas e quantificadas, por meio de métodos convencionais, em laboratório (MOURA, 2016).

Segundo Ziosi et al. (2008), para que essas avaliações gerem resultados consistentes e confiáveis, é necessário certificar a especificidade do teste, de modo que um composto não influencie na identificação do componente de interesse. Para isso, é fundamental manter os

cuidados especiais, no preparo das amostras, tal como na manipulação dos reagentes e das vidrarias, de forma que a medida alcançada, seja o mais próximo do resultado real.

Entretanto, essas avaliações exigem a destruição dos frutos, logo, são executadas em algumas amostras muitas vezes não totalmente representativas, da variabilidade que está presente no fruto, o que acarreta em perda de produção, além de demandarem tempo, reagentes e mão de obra especializada (COSTA, 2015).

Borba (2016) afirma que o emprego, de métodos convencionais, exige bastante cautela, quando há o propósito de diminuir as eventualidades de erros, que podem ser operacionais ou pessoais, ocorridos ao longo da leitura de instrumentação, da preparação de amostras e das diluições.

Nos últimos anos, os estudos têm sido concentrados, no desenvolvimento de métodos não destrutivos, para avaliação da qualidade de produtos agrícolas, como a classificação e o controle de qualidade, de frutas e de hortaliças (ZDUNEK et al., 2014), usando, por exemplo, a reflectância do infravermelho, para estimar a maturação de mangas (BORDA, 2016), a maturação do abacate (ERICKSON & PORTER, 1966), e a colorimetria, para estimar de forma indireta, os teores de licopeno, em frutos de genótipos, de tomateiro (CARVALHO et al., 2005).

A aplicação desses métodos, no período pós-colheita, pode ser muito útil na separação e na classificação dos frutos de maneira não invasiva, buscando obter lotes mais homogêneos, principalmente, em *packing houses*. No entanto, esses métodos podem ser desenvolvidos para utilização no campo, na determinação do ponto de colheita (MARQUES et al., 2016).

1.6 Uso da colorimetria

A cor é uma característica sensorial que influencia a escolha do consumidor e é um indicador da qualidade do fruto pós-colheita. Por ser uma técnica que não causa danos ao fruto, a análise de colorimetria vem sendo empregada para determinar a correlação entre o desenvolvimento e a alteração de cores que acontece na sua pele (RADZEVICIUS et al., 2014).

Dessa forma, a colorimetria consiste na técnica de medição de cor que define a concentração de uma substância pela medida da absorção de luz, levando como base a absorção da substância numa concentração conhecida (LOLI & TOMIO, 2018). Além disso, essa técnica busca caracterizar, quantificar e simular a percepção da cor pelo homem através de modelos matemáticos (BETEMPS & RAMOS, 2021).

Segundo Femades & Costa Filho (2021) a percepção humana sobre as cores assume uma característica altamente subjetiva e pessoal, de maneira que a sensação da cor seja única, depois

de complicadas operações de recepção registrado pela retina e processamento de impulsos recebidos pelo cérebro. Na visão humana, a sensação de cor ocorre na faixa de radiação eletromagnética que abrange os espectros de 400 a 700 nm (LOLI & TOMIO, 2018). Através dos métodos colorimétricos é possível determinar pequenas quantidades de cores nas amostras. O colorímetro é equipamento utilizado para realização dessa análise, fornecendo coordenadas colorimétricas ($L^*a^*b^*$) universais (ARAÚJO et al., 2020).

De acordo com Betemps & Ramos (2021) a *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE) criou métodos para representar a cor numericamente, sendo os mais conhecidos: o modelo de cor Yxy, desenvolvido em 1931, baseado nos valores triestímulos XYZ estabelecidos pela CIE, no entanto o modelo de cor $L^*a^*b^*$, criado em 1976 para fornecer relação uniforme entre as diferenças da cor e as diferenças visuais.

Os três parâmetros do modelo representam a coordenada L que expressa o grau de luminosidade da cor média ($L^* = 100 =$ branco; $L^* = 0 =$ preto); a coordenada a^* que expressa o grau de variação entre o vermelho e o verde (a^* mais negativo = mais verde; a^* mais positivo mais vermelho); e a coordenada b^* que expressa o grau de variação entre o azul e o amarelo (b^* mais negativo = mais azul; b^* mais positivo = mais amarelo) (OLIVEIRA et al., 2020), como indicado na Figura 4:

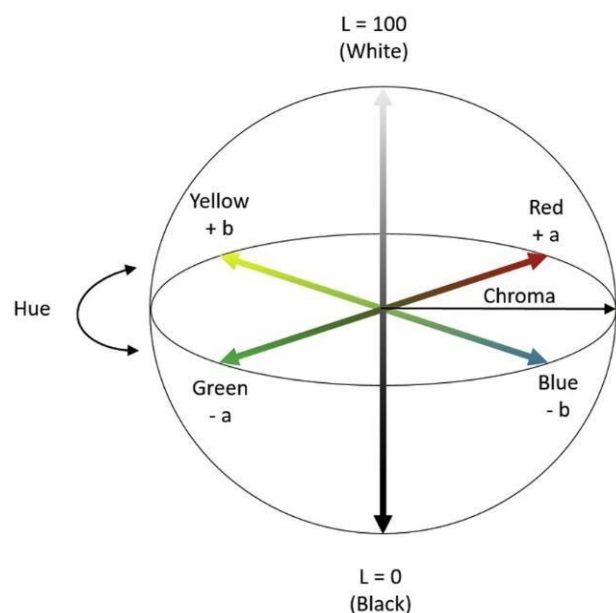


Figura 4: Espaço tridimensional de cores $L^*a^*b^*$ - Modelo CIE. Fonte: LY et al. (2020).

A colorimetria, quando aplicada à análise da cor, da superfície dos frutos, pode ser usada para detectar alterações fisiológicas que acontecem nos frutos. Uma vez que, ao longo do processo de amadurecimento dos frutos, ocorrem várias mudanças bioquímicas, como degradação de clorofilas e síntese de pigmentos, que interferem na coloração dos frutos. Através da descrição, dessas mudanças, pode-se mensurar a melhor época da colheita dos frutos, assim como acompanhar a evolução da maturação, no decorrer do armazenamento (LYSIAK et al., 2014).

O emprego da colorimetria, como critério de maturação, tem sido estudado em várias espécies, abrangendo o tomate, o morango, a manga, o mamão, as cerejas, entre outras. Diversas pesquisas, atestam que a colorimetria correlaciona-se com o estágio de maturação do fruto e atributos químicos, como, por exemplo, o teor de licopeno.

1.7 Aspectos práticos da regressão

Para Ferreira (2015), o conjunto de amostras utilizados, para a calibração, deve ser representativo da população, isto é, todas as fontes de variações e de valores reais, que poderão ser achadas em amostras futuras, têm que estar presentes, e uniformemente, distribuídas ao longo do intervalo de variação. Portanto, quanto maior o número de amostras utilizadas e maior a variabilidade das amostras, melhor será o modelo. A definição do número de amostras, para o conjunto de calibração, depende da complexidade da amostra.

A maioria, recomenda-se para amostra de alimentos, um mínimo de 100 amostras representativas, e com variabilidade da propriedade de interesse. Para avaliar os resultados da validação, os índices estatísticos mais empregados são o Erro Absoluto Médio (EAM) (Equação 1) e o Índice de Concordância de Willmott (d) (Equação 2). O EAM quantifica a magnitude do erro do modelo, em termos absolutos, e quanto menor for o erro absoluto médio, menor será o desvio dos valores preditos, pelo modelo, em relação aos valores observados (MATSIMBE et al., 2015). ;

Já o índice de concordância, representa a exatidão do modelo de estimativa, avaliando o grau de concordância entre os valores preditos pelo modelo e os valores obtidos pelo método de referência, podendo variar entre 0 e 1. Assim, quanto mais próximo de 1 for o índice de concordância, maior será a exatidão, entre as estimativas do modelo e os valores reais (vice-versa).

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (1)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (2)$$

em que:

P_i = valor estimado pelo modelo;

O_i = valor de referência obtido pelo método

laboratorial; n = número de amostras;

\bar{O}_i = média dos valores de referência obtidos pelo método laboratorial.

Esses dois termos são amplamente utilizados na área de modelagem. Ao calibrar um modelo, o modelador utiliza dados experimentais para realizar ajustes nos parâmetros do modelo. Os dados experimentais (as medições) devem conter as variáveis de entrada e algumas ou todas as variáveis de saída do modelo. O ajuste é feito objetivando a minimização do erro de predição do modelo, observando as variáveis de saída. Enfim, pode-se estabelecer que a calibração: consiste em ajustar parâmetros para aproximar resultados das simulações a dados observados experimentalmente. Portanto, a estrutura do modelo não é alterada pela calibração (de ALMEIDA DOCKHORN et al., 2018).

Ao calibrar um modelo com base em dados experimentais, os resultados (estatísticos) podem parecer bons ou mesmo excelentes, mas isso não garante que o modelo realmente funciona e pode ser extrapolado para outros cenários. Acontece que a calibração é normalmente um processo estatístico, um ajuste dos parâmetros, e como modelos mais complexos possuem muitos parâmetros calibráveis, não é difícil conseguir um resultado bom.

Na validação utiliza-se modelo calibrado para realizar simulações de uma nova série de dados de campo que não seja aquela que foi utilizada na etapa de calibração. Ao comparar os resultados entre a simulação do modelo e as observações reais, pode-se ter ideia se o modelo realmente representa de forma real o processo modelado (VENKATESH et al., 2011).

1.8 REFERÊNCIAS

- ALENCAR E.S. **Composição nutricional de duas variedades do tomate (*Solanum lycopersicum*) comercializado em São Luís – MA**. TCC (Graduação Química). São Luís: UFMA, 2017. 51p.
- ALMEIDA, R. C.; De Deus, F. P.; DIOTTO, A. V.; TEIXEIRA, A. L. P.; LEMOS, L. T. O.; PIZETTA, S. C.; & DE GÓES VIEIRA, C. N. Desenvolvimento vegetativo do tomateiro sweet heaven irrigado com água tratada magneticamente. **Brazilian Journal of Development**, 6(2), 2020. 5428- 5434.
- ALVARENGA, M. A. R. Origem, Botânica e Descrição da planta. In: Alvarenga, M. A. R. . **Tomate: Produção em Campo, Casa de Vegetação e Hidroponia**. 2. ed. Editora Universitária de Lavras, cap. 1, p. 13-21, 2013, Lavras – MG.
- AMIRI-RIGI, A.; & ABBASI, S. Microemulsion-based lycopene extraction: Effect of surfactants, co-surfactants and pretreatments. **Food chemistry**, p. 197, 1002-1007, 2016
- ANUÁRIO HORTIFRUT 2019/2020 - Retrospectiva 2019 e Perspectiva 2020. CEPEA USP/ESALQ. 2019. 52 pg. **Anuário brasileiro de horti&fruti 2020: Brazilian Horti & Fruti Yearbook**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2019.
- ARAH, AMAGLO, KUMAH; & OFORI, I.K. ARAH, H. AMAGLO, E.K. KUMAH, H. . Ofori Preharvest and postharvest factors affecting the quality and shelf life of harvested tomatoes: A mini review **International Journal of Agronomy**, 2015.
- ARAÚJO, BLO; ANDRADE, ET DE; OLIVEIRA, F. DA S. DE; MOREIRA, KS; RIOS, P. DE .A Modelagem matemática da cinética de secagem e seu efeito na cor do alho brasileiro (*Allium sativum* L.). **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 9, n. 8,2020
- AULAR, J. E W. NATALE . Nutrição mineral e qualidade do fruto de algumas frutíferas tropicais: goiabeira, mangueira, bananeira e mamoeiro. *Rev. Bras. Frutic.* 35 (4), 1214-1231, 2013.
- BASSO A. **Decomposição fotocatalítica do etileno visando o controle de maturação de tomate cereja**. Tese (Doutorado em Eng. Química). Florianópolis: UFSC. 80p, 2019.
- BECKLES, D. M. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, 63(1), 129-140, 2012
- BECKER, B. R.; FRICKE, B. A. **Hydrocooling time estimation methods**. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, 29(2), 165-174, 2002
- BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução a química de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela. 2003.
- BORBA, K. R. **Determinação de parâmetros físico-químicos em laranjas “Valência” por métodos não-destrutivos**. (2016). 93f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara.
- BRASIL. Ministério da Agricultura do Abastecimento e da Reforma Agrária. Portaria nº 553

de 30 de agosto de 1995. Dispõe sobre a Norma de Identidade, Qualidade, Acondicionamento e Embalagem do Tomate in natura, para fins de comercialização e revoga as especificações de Identidade, Qualidade, Acondicionamento e Embalagem do Tomate, estabelecidas pela Portaria nº. 76, de 25 de fevereiro de 1975. Brasília: **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento técnico de identidade e qualidade para classificação do tomate. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, mar, 2002.

BETEMPS, D. L., & Ramos, R. F. Avaliações não destrutivas em pós-colheita . **Informe Agropecuário**. Pós-colheita, Belo Horizonte, v.42, n.314, p.00-00, 2021.

BRIDLE, P. & TIMBERLAKE, C.F. (1997). Anthocyanins as naturais food colours – selected aspects. **Food Chemistry**, v.58, n.1-2, p.103-109.

CARVALHO, W.; FONSECA, M.E.D.N.; SILVA, H.R.D.; BOITEUX, L.S.; & GIORDANO, L.D.B. Estimativa indireta de teores de licopeno em frutos de genótipos de tomateiro via análise colorimétrica. **Horticultura Brasileira**, 23, 819-825. 2005.

CHACON, W. D. C. **Estimativa do estágio de maturação, volume e massa do mamão (Carica papaya L.) por meio de processamento de imagens para classificação automatizada**. (2022), 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos.) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CHITARRA, M. I. F. & CHITARRA, A. B. . **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia manuseio**. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA 785 p. 2005.

COSTA, A. G. **Identificação da maturação de frutos da macaúba por meio de características óticas**. (2015). 143p. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

COSTA, J. A. P.; & MATIAS, A. G. C. (2014). Câncer de próstata e a relação quimiopreventiva do licopeno: revisão sistematizada. **Tempus–Actas de Saúde Coletiva**, 8(4), ág-223.

DE ALMEIDA DOCKHORN, W.; MOREIRA, V. S.; ZIMMER, T.; ROBERTI, D. R.; & MALDANER, S. Validação do modelo CERES-Rice para a cultivar IRGA 424 no Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, 88-92. 2018.

DE MORAIS CARVALHO FILHO, R. S.; PEREIRA, J. C. A.; ROCHA, N. A.; CARVALHO, T. A.; DA SILVA, M. K.; & AMARAL, F. M. (2021). Avaliação da estabilidade térmica do indicador natural ácido-base oriundo do extrato aquoso da euphorbia *Leucocephala* Lotsy. **Brazilian Journal of Development**, 7(9), 93129-93140.

DEUS, V. L.; SANTOS, A. P. C.; WALKER, J. F.; NETA, L. S.; & SOUZA, L. S. Compostos fenólicos em hortaliças cultivadas nos sistemas convencional e orgânico: uma revisão. **Brazilian Journal of Health and Pharmacy**, 1(1), 70-84.2019.

DREOSTI, J. E. Antioxidant polyphenols in tea, cocoa, and wine. **Nutrition**, New York, v.16, n. 7/8, p. 692-694. 2000.

ERICKSON, L.C.; & PORTER G.G. Correlations between cuticle wax and oil in avocados. **California Avocado Society, Yearbook**, v.50, p.121; 1966

FAO – **Food Agricultural Organization Production yearbook**, Roma. 2019.

FAO: **Agriculture, Food and Organization of the United Nations**. 2020. Produtividade Mundial Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Accessed May 10, 2020.

FERNANDES, G. S. T.; DE ARAUJO LIMA, E.; CHAVES, D. V.; & VIEIRA, J. D. A. M. Resposta do tomateiro ‘Sweet Heaven’ cultivado sob doses de bioestimulante à variação temporal dos elementos do clima em Bom Jesus, PI. **Agrometeoros**, 26(1), 2018.

FERNANDES, M. M.; & COSTA FILHO, L. L. (2021). Percepção e avaliação cromática de ambientes de trabalho de escritório. **Ergodesign & HCI**, 9(1), 15-30.

FERREIRA, M. M. C. **Quimiometria: Conceitos, Métodos e Aplicações**. Unicamp ed. Campinas, SP: 2015. 496p.

FERREIRA, ISABEL C.F.R.; MARTINS, NATÁLIA; BARROS, LILLIAN. Phenolic Compounds and Its Bioavailability . Advances In **Food And Nutrition Research**, p.1 -44. 2017

FILGUEIRA. F.A. **Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortaliças**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda. 1982.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo Manual de Olericultura: Agrocotecnologia Moderna na Produção e Comercialização de Hortaliça**. Viçosa: UFV, 2.425p. 2008.

FONTES, P. C. R.; SILVA, D. J. H. **Cultura do tomate**. In: Fontes, P. C. R. (Ed.). **Olericultura: teoria e prática**. Viçosa, MG: UFV, p. 457- 475. 2005.

GARCÍA SANTILLÁN, I. D. (2008). **Visión Artificial y Procesamiento Digital de Imágenes usando Matlab**.

GONÇALVES, L. C. P.; MARCATO, A. C.; RODRIGUES, A. C. B.; PAGANO, A. P. E.; FREITAS, B. C.; MACHADO, C. D. O.; & BASTOS, E. L. Betalaínas: Das cores das beterrabas à fluorescência das flores. **Revista Virtual de Química**, 7(1), 292-309, 2015.

GIORDANO. L.B. DE; RIBEIRO. C.S.C. **Origem. Botânica e Composição Química do fruto**. In: **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa / Comunicação para Transferência de Tecnologia / (Embrapa Hortaliças). p.12-17, 2000.

GOULD, K. S.; & LISTER, C. Flavonoid functions in plants. In: andersen, ø.m.; markham, k.R. (ed.) **Flavonoids: chemistry, biochemistry and applications**. Boca raton: crc – press, p. 397–411. 2006.

GOYETTE, B.; VIGNEAULT, C.; CHARLES, M. T.; & RAGHAVAN, V. G. Effect of hyperbaric treatments on the quality attributes of tomato. **Canadian Journal of Plant Science**, 92(3), 541- 551. 2012.

GUERREIRO, D.; MADUREIRA, J.; SILVA, T.; MELO, R.; SANTOS, P.M.P.; FERREIRA, A.; TRIGO, M.J.; FALCÃO, A.N.; MARGAÇA, F.M.A.; VERDE, S.C. Postharvest treatment of cherry tomatoes by gamma radiation: Microbial and physicochemical parameters evaluation.

Innovative **Food Science & Emerging Technologies**, v. 36, p. 1-9. 2016.

HARBORNE, J.B.; GRAYER, R. J. The anthocyanins. In: The flavonoids: advances in research since 1980. **Chapman & Hall**, London, p. 1-20.1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Em janeiro, IBGE prevê safra 6,0% inferior à de 2019. Rio de Janeiro, 2019. Acesso em: 16 out. 2020.

JACQUES, A. C.; & ZAMBLAZI, R. C. Fitoquímicos em amora-preta (*Rubus* spp). **Semina: Ciências Agrárias**, 32(1), 245-259. 2011.

JARIMOPAS, B.; & JAISIN N. An experimental machine vision system for sorting sweet tamarind. **J Food Eng** 89: 291–297. 2008.

KONCZAK, I.; TERAHARA, N.; YOSHIMOTO, M.; NAKATANI, M.; YOSHINAGA, M.; & YAMAKAWA, O. Regulating the composition of anthocyanins and phenolic acids in a sweet potato cell culture towards production of polyphenolic complex with enhanced physiological activity. **Trends in Food Science and Technology**, v.16, n.9, p.377-388. 2005.

KRINSKY, N.I. **Carotenoids as antioxidants**. Nutrition. 2001; 17:815-7.

LAYRISSE, M. New property of vitamin A and β -carotene on human iron absorption: effect on phytate and polyphenols as inhibitors of iron absorption. **Arch. Latinoam. Nutr., Guatemala**, v. 50, n. 3, p. 243-248. 2000.

LIU, H.; MENG, F.; MIAO, H.; CHEN, S.; YIN, T.; HU, S.; SHAO, Z.; LIU, Y.; GAO, L.; ZHU, C.; ZHANG, B.; WANG, Q. Effects of postharvest methyl jasmonate treatment on main health-promoting components and volatile organic compounds in cherry tomato fruits. **Food Chemistry**, v. 263, p. 194-200. 2018.

LOLI, A. C.; & TOMIO, G. V.O vermelho do tomate em diferentes níveis de maturação calculado por índices de refletância. **Tech & campo**, 1(1), 17-31. 2018.

LOURENÇO, M. M. S. F. (2017). **Encapsulação dos carotenóides extraídos do repiso do tomate por spray drying** (Doctoral dissertation, ISA-UL).

LUTEROTTI, S.; BICANIC, D.; MARKOVIĆ, K.; & FRANKO, M. Carotenes in processed tomato after thermal treatment. **Food Control**, 48, 67-74. 2015.

LY, B. C. K.; DYER, E. B.; FEIG, J. L.; CHIEN, A. L.; & DEL BINO, S. Research techniques made simple: cutaneous colorimetry: a reliable technique for objective skin color measurement. **Journal of Investigative Dermatology**, 140(1), 3-12. 2020.

LYSIAK, G. et al. Apple skin colour changes during harvest as an indicator of maturity. Acta Scientiarum Polonorum. **Hortorum Cultus**, Lublin, v.13, n.3, p.71-83. 2014.

MADUREIRA, J.; SEVERINO, A.; COJOCARU, M.; GAROFALIDE, S.; SANTOS, P.M.P.; CAROLINO, M.M.; MARGAÇA, F.M.A.; VERDE, S.C. E-beam treatment to guarantee the safety and quality of cherry tomatoes. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 55, p. 57-65.2019.

MALACRIA, D. (2011). **Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications** (Vol. 2).

MARQUES, J. D. D. S. (2019). **Produção de sementes de olerícolas em Bragança Paulista: Empresa Sakata Seed Sudamerica** (Bachelor's thesis, Brasil).

MARQUES, E. J. N.; FREITAS, S. T.; PIMENTEL, M. F.; PASQUIN, C. Rapid and nondestructive determination of quality parameters in the ‘Tommy Atkins’ mango using a novel handheld nearinfrared spectrometer. **Food Chemistry**, v. 197, p. 1207- 1214. 2016.

MATSIMBE, S.F.S.; MOTOIKE, S.Y.; PINTO, F.A.C.; LEITE, H.G.; MARCATTI, G.E. Prediction of oil content in the mesocarp of fruit from the macauba palm using spectrometry. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 21-28, 2015.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J.; VICARIO, I. M.; & HEREDIA, F. J. Importancia nutricional de los pigmentos carotenóides. **Archivos Latino americanos de Nutrición (ALAN)**, Caracas, v. 54,n. 2, p. 56-63. 2004.

MELO, E. A.; & GUERRA, N. B. Ação Antioxidante de Compostos Fenolicos Naturalmente Presentes em Alimentos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n. 36, p. 1-11. 2002.

MESQUITA, S. D. S.; TEIXEIRA, C. M. L. L.; & SERVULO, E. F. C. Carotenóides: Propriedades, aplicações e mercado. **Revista virtual de Química**, 9(2), 672-688. 2017.

MOURA, L. D. O. **Estimativa de pigmentos em alfaces cultivadas em diferentes sistemas de produção com base na espectrometria**. (2016), 106 f. Dissertação (Mestrado em ciências agrárias) – Curso de Pós-Graduação em Ciências agrária, Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas.

NASCIMENTO, P. **Avaliação de retenção de carotenóides de abóbora, mandioca e batata doce**. São José do Rio Preto, (2006). 67p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Biociências, Letrase Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista.

NAVARRO-GONZÁLEZ, I.; GARCÍA-ALONSO, J.; & PERIAGO, M. J. Bioactive compounds of tomato: Cancer chemopreventive effects and influence on the transcriptome in hepatocytes. **Journal of Functional Foods**, 42, 271-280. 2018.

NEPA- **Núcleo de estudos e pesquisas em alimentação. Tabela brasileira de composição de alimentos** (TACO). 4 ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA – UNICAMP, 2011. 161p.

NIKI, E. Assessment of antioxidant capacity in vitro and in vivo. **Free Radical Biology and Medicine**, 49(4), 503-515. 2010.

NÖRNBERG, M. L.; PINHEIRO, P. N.; DO NASCIMENTO, T. C.; FERNANDES, A. S.; MARIA DE FÁTIMA, B. L.; & JACOB-LOPES, E. (2022). Compostos bioativos em manteigas: carotenoides e ácidos graxos Bioactive compounds in butters: carotenoids and fatty acids. **Brazilian Journal of Development**, 8(2), 10270-10288.

OLIVEIRA, C. M.; CONEGLIAN, R. C.; & CARMO, M. G. Conservação pós-colheita de tomate-cereja revestidos com película de fécula de mandioca. **Horticultura Brasileira**, 33, 471-479. 2015.

OLIVEIRA, G. P.; SILVA, S. R. DA; SCARPARE FILHO, J. A. Maturation curve of

jaboticaba ‘Sabará’. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 7, p. e296974212. DOI: 10.33448/rsd-v9i7.4212.2020.

PADOVANI, M.I. **Tomate: o “fruto do amor” que conquistou o mundo**. São Paulo: Ícone, 1986. 152p.

PERIPOLLI, M. **Bioestimulador na morfologia, fisiologia e qualidade de frutos de tomate submetido ao estresse hídrico**. (2019). 61 f. Tese (mestrado em Agrobiologia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2019.

PINHEIRO DT et al. Aspectos tecnológicos e qualitativos da produção de sementes de tomate. **Revista Espacios** 38: 10-24. 2017.

POOJARY, M. M.; & PASSAMONTI, P. Optimization of extraction of high purity alltrans-lycopene from tomato pulp waste. **Food chemistry**, 188, 84-91. 2015.

PRECZENHAK, ANA P. et al. Caracterização agrônômica de genótipos de minitomate. **Hortica Brasileira**. [online]. 2014, vol.32, n.3, pp.348-356.

PREEDY, V. R.; & WATSON, R. R. Tomatoes and Tomato Products – Nutricional, Medicinal and Therapeutic Properties. In: Inbaraj, B. S. & Chen, B. H. Carotenoids in tomato plants. **Science Publishers**. United States of America, 134 p. 2008.

QUINTANILHA, K. T. **Análise de produtores de tomate de mesa do estado de goiás e uso de Vant como ferramenta para levantamento de informações**. (2020). 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás.

RADZEVIČIUS, A.; VIŠKELIS, P.; VIŠKELIS, J.; KARKLELIENĖ, R.; JUŠKEVIČIENĖ, D. Tomato Fruit Color Changes During Ripening On Vine. **International Journal of Biological, Food, Veterinary and Agricultural Engineering, Riverside**, v. 8, n. 2, p. 108-110. 2014.

RANVEE, R. C.; PATIL, S. N.; & SAHOO, A. K. “Effect of different parameters on enzyme-assisted extraction of lycopene from tomato processing waste”. In: **Food and bioproducts processing**. 91: 370–375. 2013.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: Edgard Blucher/ Instituto Mauá de Tecnologia, 2004. p. 345.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Assessment of the provitamin A contents of foods - The Brazilian experience. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 9, p. 196-230, 1996.

SANGI, S.; & BIANCHETTI, R. E. **Capítulo XXI Da genômica à bioinformática**. Botânica no inverno 2017 Organizadores Laboratório de Algas Marinhas, 275. 2017.

SILVA, J. M. D.; FERREIRA, R. S.; MELO, A. S. D.; SUASSUNA, J. F.; DUTRA, A. F., & GOMES, J. P. Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição da evapotranspiração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 17(1), 40-46. 2013.

SILVA, J. A.; DUTRA, A. F.; DA SILVA CAVALCANTI, N. M.; DE MELO, A. S.; DA SILVA, F. G.; & DA SILVA, J. M. Aspectos agrônômicos do tomateiro “Caline Ipa 6”

cultivado sob regimes hídricos em área do semiárido. **Revista Agro@ mbiente on-line-line**, 8(3), 336-344. 2014.

SILVA JÚNIOR, A. A. et al. Pão de ora-pro-nóbis: um novo conceito de alimentação funcional. **Agropecuária Catarinense**, Santa Catarina, v. 23, n. 1, p. 35-37.2010.

SINGH, B.; SINGH, J. P.; KAUR, A.; & SINGH, N. Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. **Food Research International**, 101, 1- 16. 2017.

STRATI, I. F.; & OREOPOULOU, V. Recovery of carotenoids from tomato processing by-products—a review. **Food research international**, 65, 311-321. 2014.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAIZ, L & ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto alegre: artmed, 2013. 918 p.

TRANI, P. E.; CARRIJO, O. A. **Fertirrigação em hortaliças**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2004. 53 p. (Boletim Técnico IAC, 196).

VENKATESH, B.; LAKSMAN, N.; PURANDARA, B.K.; REDDY, V.B. Analysis of observed soil moisture patterns under different land covers in Western Ghats, India. **Journal of Hydrology**, v.397, p.281-294. 2011. VERRUCK, S.; PRUDENCIO, E. S.; & DA SILVEIRA, S. M. Compostos bioativos com capacidade antioxidante e antimicrobiana em frutas. **In Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos** (Vol. 4, No. 1).2018.

WANG, Y.; MIAO, X.; SUN, J.; CAI, L. Oxidative Stress in Diabetes: Molecular Basis for Diet Supplementation. In **Molecular Nutrition and Diabetes: A Volume in the Molecular Nutrition Series** (pp. 65–72). 2016.

WILLCOX, J.K.; CATIGNANI, G.L.; LAZARUS, S. Tomatoes and cardiovascular health. *Crit. Rev. FoodSci. Nutr.* 2003; 43(1):1-18

YE, S.; ZHENG, S.; SONG, X.; LUO, S. Photoelectrocatalytic decomposition of ethylene using TiO₂/activated carbon fiber electrode with applied pulsed direct current square-wave potential. **Applied Surface Science**, v. 341, p. 61-68. 2015.

YUYAMA, L. K. O; MARINHO, H. A; ALENCAR, F. H; COZZOLINO, S. M. F. Vitamina A (retinol) e carotenóides. *In: Biodisponibilidade de Nutrientes*. São Paulo: Manole, p. 219-26. (2007).

ZDUNEK, A.; ADAMIAK, A.; PIECZYWEK, P. M.; KURNDA, A. The biospeckle method for the investigation of agricultural crops: A review. **Optics and Lasers in Engineering**, v. 52, p. 276-285. 2014.

ZIOSI, V.; NOFERINI, M.; FIORI, G.; TADIELLO, A.; TRAINOTTI, L.; CASADORO, G.; COSTA, G. A new index based on VIS spectroscopy to characterize the progression of ripening in peach fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v 49, p. 319-329. (2009).

CAPITULO 2- ARTIGO 1

EFEITO DO ESTÁDIO DE MATURAÇÃO NOS COMPOSTOS BIOATIVOS, ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE TOMATE TIPO *GRAPE*

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi caracterizar as 5 classes de tomate cereja, da variedade *sweet heaven* tipo *grape*, com base na cor instrumental. Foram utilizados para o experimento, essa variedade, cultivadas em ambiente protegido no sítio Avestruz no Cerrado, situado na Zona Rural de Araçai-MG. O experimento foi conduzido, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco estádios de maturação (tratamentos) e com cinco repetições. Foram avaliados, os conteúdos dos compostos bioativos (compostos fenólicos totais, carotenoides totais, licopeno e flavonoides) e as características físico-químicas (pH, sólidos solúveis totais, acidez total titulável e a relação SST/ATT). Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, e ao teste de homogeneidade Bartlett, e para os que não atenderam, utilizou-se o teste Kruskal Wallis equivalente não paramétrico da ANOVA, seguido pelo teste de Dunn. Houve efeito significativo para todas as variáveis analisadas. Os resultados mostraram uma redução do teor da acidez total titulável; um aumento no pH, dos sólidos solúveis totais e da relação SST/ATT. As amostras coletadas, no estádio maduro, apresentaram as maiores concentrações dos compostos bioativos e da capacidade antioxidante. Apesar de apresentarem características superiores, em relação aos demais estádios, a colheita dos tomates nessa fase, foi comprometida, em virtude da sua perecibilidade ao manuseio. Sendo assim, a avaliação conjunta, dos atributos de qualidade, pode melhorar a identificação dos estádios de maturação, de modo a assegurar, a entrega de um produto, que satisfaça às exigências dos consumidores.

Palavras Chaves: *Lycopersicon esculentum* L. Qualidade. Capacidade antioxidante.

EFFECT OF MATURATION STAGE OF BIOACTIVE COMPOUNDS, ANTIOXIDANT ACTIVITY AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF GRAPE TOMATO

ABSTRACT: The objective of this work was to characterize the 5 classes of grape-type cherry tomatoes of Sweet Heaven variety based on the instrumental color. Tomatoes of this variety were grown in a greenhouse at the Avestruz no Cerrado farm, located in the rural area of Araçuaí-MG. The experiment was carried out in a completely randomized design (CRD), with five stages of maturation (treatments) and five replications. The contents of the bioactive compounds (total phenolic compounds, total carotenoids, lycopene and flavonoids) and the physicochemical characteristics (pH, total soluble solids, total titratable acidity and SST/ATT ratio) were evaluated. Data were submitted to the Shapiro-Wilk normality test and the Bartlett homogeneity test, and for those that did not meet, the Kruskal Wallis nonparametric equivalent ANOVA test was used, followed by Dunn's test. There was a significant effect for all variables analyzed. The results showed a reduction in the total titratable acidity content; an increase in pH, total soluble solids and SST/ATT ratio. The samples collected in the mature stage showed the highest concentrations of bioactive compounds and antioxidant capacity. Despite presenting superior characteristics in relation to the other stages, the harvest of tomatoes at this stage becomes compromised due to their perishability to handling. Therefore, the joint assessment of quality attributes can improve the identification of maturation stages, in order to ensure the delivery of a product that satisfies consumer requirements.

Keywords: *Lycopersicon esculentum* L. Quality. Antioxidant.

2 INTRODUÇÃO

No Brasil, o cultivo do tomate possui uma grande relevância, tanto por sua expressão em área plantada, quanto pela a quantidade produzida. Dentre as inúmeras cultivares de tomate, disponíveis no mercado, a procura pelo tomate cereja (*Solanun Lycopersicum L. var cerasiforme*), da variedade *sweet heaven* tipo *grape*, têm aumentado nos últimos anos, e o nosso país, como grande produtor, vem investindo na produção deste tomate, uma vez que seu consumo, *in natura*, está crescendo rapidamente, devido à preferência por um produto diferenciado (VIEIRA et al, 2014).

Por apresentarem tamanho reduzido e serem mais delicados, os mini tomates são considerados um fruto exótico, que apresentam uma grande versatilidade, sendo incorporados aos cardápios de restaurantes, na elaboração de diversos pratos e aperitivos, trazendo assim, novos sabores (LIU et al., 2018). Esta ampla aprovação está diretamente relacionada, às propriedades sensoriais e nutricionais, do fruto *in natura*, e também, por ser considerado um alimento rico em vitaminas (retinol, timina, riboflavina, niacina, ácido pantotênico e ácido ascórbico), em sais minerais, em ácido fólico, em cálcio e em frutose (POBIEGA et al., 2020). Além disso, seu consumo tem sido correlacionado à redução de vários tipos de doenças crônicas não transmissíveis, como o câncer, as doenças cardiovasculares e as cataratas. Esse efeito positivo é atribuído aos antioxidantes, particularmente, aos carotenoides (licopeno e β -caroteno), e aos compostos fenólicos (MELO et al., 2014).

A classificação do tomate, para consumo *in natura*, pela legislação brasileira vigente, estabelece os subgrupos em função de sua coloração, característica esta que está relacionada com o estágio de maturação. Sendo assim, o tomate é classificado em cinco subgrupos: verde maduro, pintado, rosado, vermelho e vermelho maduro (BRASIL, 1995). Entretanto, na prática, amajoria dos produtores e dos embaladores, utilizam a nomenclatura desenvolvida pela Cearsa - Minas, que diferencia os subgrupos em: verde, salada, colorido, vermelho e molho (CUNHA et al., 2016).

Segundo Belém (2003), a classificação da hortaliça garante um padrão único, para os produtores, os atacadistas e os consumidores finais, uma vez que promove maior facilidade na comercialização, dando a possibilidade aos agricultores, de terem seus produtos valorizados, além de garantir ao consumidor, elevado padrão de qualidade.

De acordo com Aguiar et al. (2015), um fruto de qualidade é aquele que, por meio das propriedades internas e externas, satisfaz as expectativas de uma ampla gama de consumidores. As propriedades internas estão diretamente associadas ao sabor (teor de açúcares e de acidez) e

ao teor de suco (rendimento), e estes por sua vez, são parâmetros bastante aplicados como método, para a seleção de frutas pela indústria, ao passo que as propriedades externas estão relacionadas à boa aparência (cor da casca, tamanho, peso, ausência de falhas), e caracterizam os critérios usados pelo consumidor, no momento da compra.

No entanto, a qualidade do tomate é influenciada por uma variedade de fatores, como condições de cultivo, características da cultivar, condições de armazenamento, ponto de colheita, transporte e embalagem (REDIVE et al., 2018). O tomate, por ser um fruto climatérico, amadurece rapidamente, após a colheita, devido à transpiração e à respiração. Em seu período pós-colheita, ocorrem várias transformações fisiológicas, bioquímicas e moleculares, incluindo a degradação da clorofila, e a síntese e o armazenamento de carotenoides, em especial o licopeno. Essas transformações induzem à mudança da cor, do sabor, da aparência, da firmeza, da perda de massa, do pH e da acidez. Também, outros antioxidantes importantes, como os compostos fenólicos, apresentam modificações nos teores (PAULA et al., 2015).

Em geral, o nível de maturidade ideal, para a colheita, é determinado pela distância entre o local de produção até o mercado atacadista e / ou varejista, bem como, o tempo que leva para o fruto ser consumido, após a colheita. Dessa forma, podem ocorrer perdas, causadas pelo armazenamento insuficiente, as práticas de acondicionamento e de transporte, podem reduzir a vida útil dos frutos, limitando assim, a sua distribuição para mercados mais distantes (FERREIRA et al., 2012).

Sendo assim, a relação entre a coloração da pele e os estádios de maturação, possibilitará que o produtor faça um planejamento da colheita, a fim de aumentar o período de vida de prateleira, e fornecer tomates, que possam satisfazer às exigências dos consumidores. Diante desse contexto, o presente trabalho, teve como objetivo, caracterizar as 5 classes de tomate cereja, da variedade *sweet heaven* tipo *grape*, com base na cor instrumental.

2.1 METODOLOGIA

2.1.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Compostos Bioativos e Conservação de Alimentos, do Departamento de Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus Sete Lagoas* em Sete Lagoas- MG. Foram utilizados para o experimento os tomates “*sweet heaven*” tipo *grape*, provenientes de um sistema de cultivo protegido no sítio Avestruz no Cerrado, localizado na zona rural de Araçaí, MG. Os frutos foram colhidos em cada estágio de maturação, aleatoriamente em julho de 2021. As amostras foram transportados

sob refrigeração para o laboratório, onde realizou-se o processamento mínimo, posteriormente efetuou-se uma divisão em cinco classes (Figura 1), de acordo com a medida da cor instrumental.



Figura 1: Separação das classes de maturação do tomate cereja *sweet heaven* tipo *grape*, de acordo com os dados colorimétricos.

Os parâmetros colorimétricos foram avaliados, com o auxílio de um colorímetro Konica Minolta, CR410, no espaço de cores L^* , a^* e b^* , adaptado para ser utilizado em uma cabine escura, e ao abrigo da luz (Figura 1). As leituras foram padronizadas, sendo realizadas em 3 pontos distintos do fruto, nas regiões superior, equatorial e apical, em uma determinada posição, com a mão calçada por uma luva preta. Os resultados foram obtidos, a partir da média.

Os frutos foram separados de acordo com faixas de valores dos parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Intervalos dos dados colorímetros referentes à cada classe de maturação

Estádios de Maturação	Intervalo		
	L	a^*	b^*
1	54 – 65	(-25) – (-10)	27 – 30
2	48 – 53	(-9) – (1)	24 – 26
3	42 – 47	2 – 12	20 – 23
4	36 – 41	13 – 23	17 – 19
5	30 – 35	24 – 30	13 – 16

Logo após, as amostras foram homogeneizadas, em triturador TE 102 (Tecnal Equip. para laboratório), até a obtenção de uma massa homogênea. A partir da polpa homogeneizada, foram realizadas as análises físico-químicas, dos compostos bioativos e da atividade antioxidante.

O experimento foi conduzido, segundo delineamento experimental, inteiramente casualizado (DIC), com cinco estágios de maturação (tratamentos) e com cinco repetições, sendo que as análises, foram realizadas em triplicata.

2.1.3 Características físico-químicas

Para a expressão dos resultados em base seca (BS), determinou-se a umidade das respectivas amostras, com a finalidade de fazer as correções necessárias.

O potencial de hidrogênio (pH) foi determinado com o auxílio de um medidor de pH digital (Tekna® T-1000), mergulhando o eletrodo na amostra homogeneizada e adicionando 50 mL de água destilada (AOAC, 2016).

A acidez total titulável foi determinada por titulação, utilizando-se solução de NaOH 0,01 N como padrão e fenolftaleína como indicador, conforme metodologia proposta pela AOAC (2016), com auxílio da medição do pH. Os resultados foram expressos em g ac. cítrico.100g⁻¹ de amostra em base seca.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) foi avaliado por meio de leitura refratométrica direta em graus Brix (°Brix), utilizando um refratômetro digital (REICHERT r2MINI), segundo a metodologia da AOAC (2016).

A razão entre o teor de sólidos solúveis totais e a acidez total titulável (SST/AAT), também foi calculada.

2.1.4 Compostos bioativos

2.1.4.1 Teor total de carotenoides e licopeno

O teor de licopeno foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Rodriguez-Amaya (2001), que consiste na extração de pigmentos carotenoides com acetona p.a e quantificação por espectrofotometria a 450 nm para carotenoides totais e 470 nm para licopeno. Os resultados foram expressos em µg. 100g⁻¹ de amostra em base seca.

2.1.4.2 Compostos fenólicos totais

O teor de compostos fenólicos totais foi determinado pelo método de Folin-Ciocalteu (NEVES et al., 2009) comparando uma curva de calibração construída com ácido gálico. A absorbância foi lida em um espectrofotômetro FEMTO 700 S a 740 nm. Os resultados foram expressos mg EAG .100g⁻¹ de amostra em base seca.

2.1.4.3 Flavonoides totais

Os flavonoides foram determinados segundo o método Francis (1982). A absorbância foi lida em um espectrofotômetro FEMTO 700 S a 374 nm para flavonoides e os resultados foram expressos em mg.100g⁻¹ de amostra em base seca.

2.1.5 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi determinada pelos métodos ABTS [2,2 azinobis (3-etilbenzotiazolina-6 ácidos sulfônico)] e DPPH (2,2-defenil-1-picril-hidrazila), ambos baseados nos sequestros dos radicais livres por antioxidante, de acordo com a metodologia descrita por Brand-Williams et al. (1995) e adaptada por Embrapa (2016). A metodologia de extração dos métodos é semelhante. Pesou-se cerca de 0,1500 g de amostra e adicionou-se 15 mL de metanol acidificado com 1% HCL em cada erlenmeyer de 125 mL, em seguida foram agitados na incubadora Shaker (Novatécnica) a 150 rpm (rotação por minuto) por 2 horas. Posteriormente, 15 mL desse conteúdo foram transferidos para um tubo Falcon e este foi centrifugado a 3000 rpm (rotação por minuto) por 15 min. Uma alíquota de 0,1 mL do sobrenadante foi transferida para um tubo de ensaio, onde se adicionou 2,9 mL do radical de trabalho. Após a reação das soluções (30 minutos), realizou-se a leitura em espectrofotômetro a 734 nm para o ABTS e a 515 nm para DPPH. Os resultados obtidos foram expressos em µmol Trolox equivalente/g amostra em base seca.

2.2 Análise Estatística

Os dados foram analisados segundo o modelo de análise de variância de um fator (*one-way* ANOVA). As pressuposições de normalidade e homogeneidade das variâncias foram verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Satisfeitas as condições, a comparação das médias dos cinco estágios de maturação foi feita pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para as variáveis que não foram observadas normalidade e/ou homocedasticidade, optou-se pelo uso do teste Kruskal Wallis equivalente não paramétrico da ANOVA, seguido

pelo teste de Dunn. Todas as análises foram feitas utilizando o *Software R* (R CORE TEAM, 2017), e adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0.05$).

2.3 RESULTADO E DISCUSSÃO

A partir da verificação, as variáveis atenderam as pressuposições de normalidade e de homoscedasticidade, exceto para pH, para carotenoides, para licopeno e para atividade antioxidante (DPPH/ABTS). Para essas variáveis, utilizou-se o Kruskal Wallis, seguido pelo teste Dunn, que indicou a existência de diferenças significativas, entre os estádios.

2.3.1 Análise físico-químico

Os resultados, da análise de variância, revelaram diferenças significativas ($p < 0,05$), para as características avaliadas, em função dos estádios de maturação dos frutos. Dessa forma, os resultados serão apresentados e discutidos, em função das médias dos estádios de maturação, de 1 (verde) ao 5 (maduro), na Tabela 2.

Tabela 2: Características físico-químicas dos tomates cereja *sweet heaven* tipo *grape*: sólidos solúveis totais (SST, °BRIX), acidez total titulável (ATT, g ac. cítrico/100g BS) e relação SST/ATT, em função dos estádios de maturação dos frutos.

Estádios de Maturação	SST	ATT	SST/ATT
1	3,56 e	1,18 a	3,02 e
2	4,13d	1,16 b	3,56 d
3	5,31 c	0,86 c	6,17 c
4	6,64 b	0,74 d	8,97 b
5	7,85 a	0,60 e	13,01 a
CV (%)	4,09	2,96	4,81

*Médias seguidas por letras distintas, na coluna, indicam diferença significativa, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

De acordo com a Tabela 2, os teores de sólidos solúveis totais apresentaram um aumento com o avanço dos estádios de maturação; apresentaram diferenças significativas entre os estádios de maturação, com valores médios, variando de 3,56 °Brix (estádio 1) para 7,85 °Brix (estádio 5).

Trindade et al. (2015), atribuíram esse aumento à maior degradação de polissacarídeos e ao acúmulo de açúcares. Como os sólidos solúveis são compostos, principalmente, por sacarose,

por frutose e por glucose, no amadurecimento, os polissacarídeos da parede celular, são quebrados pelas enzimas hidrolases e liases, acarretando um aumento no teor de açúcares, tornando assim, os frutos amadurecidos, mais adocicados (VINHA et al., 2014). Nessa pesquisa, os tomates no estágio 5 de maturação, foram os que apresentaram maiores teores de SST, sendo considerados os mais adocicados.

Os resultados, do presente trabalho, apresentaram comportamento semelhante, com os Ferreira et al. (2012), que estudando a qualidade de dois híbridos, de tomate industrial, ('Mariana' e 'SM -16'), no decorrer do amadurecimento, observaram que o teor SST aumentou, com a maturação (3,68 °Brix a 3,97 °Brix).

Palet (2012), afirma que os altos teores de sólidos solúveis são importantes, tanto para o consumo do fruto *in natura*, quanto para a indústria, pois proporcionam melhor sabor e maior rendimento na elaboração dos produtos. Além disso, esse parâmetro é extremamente importante, para a aceitação dos frutos, por parte dos consumidores, uma vez que a presença de carboidratos e por consequência, a doçura, são características relevantes na decisão de escolha do público (DOS SANTOS et al., 2020).

Como pode ser observado na Tabela 2, os teores de acidez total titulável apresentaram um comportamento inverso à STT, ou seja, diminuíram, conforme o grau de amadurecimento, apresentando diferenças significativas, entre os estádios de maturação. Os teores variaram entre 1,18 g ácido cítrico/ 100g⁻¹, de amostra BS (estádio 1) a 0,60 g ácido cítrico/ 100g⁻¹, de amostra, em base seca (estádio 5).

A acidez titulável (AT), em frutos de tomate, atinge o máximo, durante os primeiros sinais de coloração amarela, mas diminui gradativamente, à medida em que a maturação avança (MORAIS, 2017). O ácido cítrico é um dos ácidos orgânicos mais abundantes, nos tomates, representando cerca de 90% da acidez total (MARTINS et al., 2017).

Corroborando também, com esse estudo, Zambrano, Moyeja & Pacheco (1995), verificaram que os tomates cv. Rio Grande e Walter, colhidos no estágio rosado (estádio 2), apresentaram 0,45 e 0,46g ácido cítrico/100g⁻¹, e as mesmas cultivares, colhidas no estágio vermelho, apresentaram menores valores, 0,42 e 0,40 g ácido cítrico/100 g⁻¹, respectivamente.

Paula et al. (2015), avaliando a qualidade pós colheita, do tomate “saladete”, colhido em diferentes estágios de maturação, detectaram um decréscimo significativo nos valores de AT,T com o amadurecimento (0,38 a 0,30 g ácido cítrico/100g⁻¹), comportamento este, semelhante aos encontrados neste estudo.

A diminuição da ATT ocorreu por causa do metabolismo respiratório, que continua

acontecendo após a colheita, fazendo com que substratos, inclusive ácidos, sejam utilizados no ciclo de Krebs, como forma de geração de energia, para a manutenção dos processos vitais dos frutos (MALGARIM et al., 2005).

O *ratio* ou índice de maturação é a razão entre SST/ATT, e pode determinar, a decisão de compra pelo consumidor, por ser um parâmetro essencial, na avaliação da qualidade sensorial dos produtos, principalmente, para o tomate (GUNDUZ & OZDEMIR, 2014). A razão SST/ATT aumentou consideravelmente, entre os estádios de maturação dos frutos do tomateiro, de 3,02 (estádio 1) para 13,01 (estádio 5) (Tabela 2). Isso ocorreu, devido à diminuição na acidez, concomitantemente, ao aumento do teor de sólidos, na medida em que os frutos apresentaram, maior grau de amadurecimento.

Segundo Kader et al. (1978), o fruto do tomateiro é considerado saboroso e de boa qualidade, quando apresenta a proporção SST/ATT, superior a 10, indicando assim, uma ótima combinação entre açúcar e acidez. Enquanto isso, valores baixos estão associados à acidez, e os frutos podem apresentar sabor desagradável ou adstringente (PACHECO et al., 1997). Diante disso, apenas o tomate no estágio 5 apresentou valor acima de 10 (13,01), sendo assim, considerado como fruto de sabor suave, ideal para os consumidores.

Freitas et al. (2016), avaliando a influência dos estádios de maturação, sobre o *ratio* (SST/ATT), de tomate Italiano, verificaram médias entre (7,23 a 26,38), sendo o maior valor para tomates, extremamente maduros. Estes valores relatados são superiores, as médias obtidas neste estudo (3,02 a 13,01), porém a variação encontrada na SST/ATT, entre os híbridos, é devido a muitos fatores, dentre os quais, o fator genético é determinante (SELEGUINI, SENO & JÚNIOR, 2007).

Segundo Vieira et al. (2020), a relação SST/ATT é uma das melhores formas de avaliar o sabor, sendo mais representativa do que as medições isoladas, de açúcares ou de acidez. No entanto, é necessário conhecer os teores SST e ATT, para ter um verdadeiro senso de sabor.

Para a variável pH, o teste de Kruskal Wallis foi significativo a 5%, indicando que há diferenças entre os estádios de maturação dos grupos ($\chi^2_{(4)} = 23,139$; $p = 0,0001$). Para a variável pH, o teste de Kruskal Wallis foi significativo a 5%, indicando que há diferenças entre os estádios de maturação dos grupos.

Tabela 3: Teor de pH em tomates cereja *sweet heaven* tipo *grape* em função dos diferentes estádios de maturação. Para os diferentes estádios de maturação estudados são apresentadas suas medianas.

Estádios de Maturação	pH
1	4,00 c
2	4,75 abc
3	4,87 abc
4	5,18 ab
5	5,69 a

*Teste de Kruskal Wallis; Medianas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Dunn ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Devido ao amadurecimento dos frutos, os tomates, em estádios de maturação avançados, apresentam pH mais elevado e menor acidez, do que os tomates em estádios de maturação verdes, implicando que estes frutos, são menos ácidos. Isto pode ser atribuído, ao consumo dos ácidos orgânicos, durante o amadurecimento, devido à atividade respiratória das células.

Corroborando este fato, Ferreira et al. (2012), avaliaram algumas características de qualidade do tomate, em diferentes estádios de maturação, e constataram que o pH decresceu até o estágio 3 de maturação, dos dois híbridos de tomate estudados. Entretanto, houve um acréscimo do pH, no estágio final da maturação, devido à redução da acidez titulável da polpa.

Já Freitas et al. (2016), verificaram a influência dos estádios de maturação nas características físico-químicas, dos tomates caqui, notando um aumento nos valores de pH, de acordo com o processo de amadurecimento, comportamento semelhante, ao encontrado nesse estudo.

Segundo Borguini (2002), ao analisar o nível de aceitação, de um produto pelo consumidor, o pH e o AT são fatores extremamente importantes, a serem considerados, pois frutos excessivamente ácidos ou com pH baixo, geralmente são rejeitadas pelo consumidor.

Davies & Hobson (1981) registraram alguns fatores, que podem afetar o pH dos tomates: a genética, o grau de maturação (ocorrendo o aumento do pH, com a maturidade), a localização da cultura, a época de produção, a incidência de apodrecimento e de injúrias. Para Bragaet al. (2013), a medida do pH é um parâmetro importante, no que concerne à conservação dos vegetais, pois influencia no desenvolvimento e no crescimento de microrganismos deteriorantes, típicos deste tipo de matéria prima.

2.3.2 Compostos bioativos e atividade antioxidante

Na Tabela 4, encontram-se os resultados, das avaliações de compostos antioxidantes, realizadas em tomates cereja *sweet heaven* tipo *grape*, em função dos diferentes estádios de maturação.

Tabela 4: Compostos bioativos do tomate cereja *sweet heaven* tipo *grape* em função dos estádios de maturação: compostos fenólicos (mg EAG 100g⁻¹ BS), e flavonoides (mg 100g⁻¹ BS).

Estádios de Maturação	C. Fenólicos	Flavonoides
1	11,272 e	0,052 e
2	12,201 d	0,071 d
3	14,545 c	0,085 c
4	18,171 b	0,091 b
5	20,641 a	0,119 a
CV (%)	0,86	5,46

*Médias seguidas por letras distintas, na coluna, indicam diferença significativa, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Os frutos do tomateiro analisados apresentaram teores de compostos fenólicos estatisticamente diferentes em função dos estádios de maturação. Observa-se que os teores de compostos fenólicos totais variaram entre 11,272 a 20,641 mg EAG 100g⁻¹ BS, com os tomates no estágio 1 (verde), apresentando menor conteúdo desses composto e os frutos no estágio 5 (maduro) o maior (Tabela 4).

A evolução dos compostos fenólicos em frutas ao longo da maturação ocorre de forma diferente, podendo ser dependente das classes fenólicas (GONZÁLEZ-AGUILAR et al., 2010).

O mesmo comportamento dos compostos fenólicos durante a maturação dos frutos de tomateiro foi observado em outros trabalhos. Paula et al. (2015) avaliando as características físico-química e compostos bioativos, em frutos tomateiros colhidos, em diferentes estádios de maturação, observaram que frutos colhidos no estágio mais avançado de maturação (estádio 5) apresentaram maior teor de compostos fenólicos do que aqueles colhidos menos maduros.

O aumento nos teores de compostos fenólicos, nos frutos, pode ser explicado principalmente, em função da radiação solar e da temperatura, em que os frutos mantidos na planta mãe, estiveram expostos. Compostos fenólicos são metabólitos secundários, produzidos pela planta, em condições de estresses, podendo também, serem causados por pragas ou por fatores climáticos (HUI, 2010). Segundo Andersen & Jordheim (2006), a radiação, em especial

a ultravioleta, está diretamente relacionada à produção de compostos fenólicos.

Em relação ao conteúdo de flavonoides, a maior concentração foi apresentada, no estágio 5 (0,119 mg 100g⁻¹ de amostra em base seca), ou seja, teor superior quando comparados com os demais estádios de maturação (Tabela 4). Segundo Chaudhary et al. (2018), nos tomates, o acúmulo e o aumento de flavonoides ocorrem durante o amadurecimento, com a diminuição do teor de clorofila. Em estudo realizado, por Sharma et al. (2018), os flavonoides, encontrados em maior abundância no tomate, são a quercetina e o ácido clorogênico.

Souza (2017), avaliando a capacidade antioxidante, da casca e da polpa de tomate cereja vermelho, laranja e roxo, observou que a casca do tomate roxo, apresentou maior concentração de flavonoides, quando comparado aos demais frutos. O total de flavonoides, da casca do tomate roxo, foi de (298,28 mg.100g⁻¹), para a casca do fruto laranja, foi de (43,06 mg.100g⁻¹) e para o vermelho, foi de (84,39 mg.100g⁻¹), respectivamente.

As propriedades dos flavonoides, em cada espécie de planta, são determinadas por um sistema interno de enzimas, geneticamente controladas, que regulam a síntese e a distribuição nas plantas (MAGALHÃES & AQUINO, 2019). Em adição aos fatores internos, o conteúdo de flavonoides são fortemente influenciados por fatores externos, como a estação do ano, a disponibilidade de radiação UV, a composição do solo e a preparação e o processamento do alimento (ARYAL et al., 2019).

Em relação aos pigmentos fotossintéticos estudados, como os (carotenoides totais /licopeno) e a atividade antioxidante, o teste de Kruskal Wallis foi significativo a 5%, indicando que há diferenças entre os estádios de maturação dos grupos ($\chi^2_{(4)} = 23,077$; $p = 0,0001$), para todos os componentes. Dessa forma, as comparações múltiplas pelo teste de Dunn, demonstraram que os tomates, nos estádios de maturação 4 e 5, diferem estatisticamente, dos tomates do estágio 1, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5: Resumo descritivo dos antioxidantes em tomate *sweet heaven* tipo *grape* em função dos estádios de maturação: carotenoides totais /licopeno ($\mu\text{g. } 100\text{g}^{-1}$ BS) e atividade antioxidante (AT) método ABTS e DPPH ($\mu\text{mol TE/g}$ amostra BS). Para os diferentes estádios de maturação estudados são apresentadas suas medianas.

Estádio de Maturação	Carotenoides	Licopeno	Atividade Antioxidante	
			ABTS	DPPH
1	28237,34 c	8112,25 c	7487,66 c	8565,51 c
2	48243,65 abc	27961,82 abc	1178,33 abc	1181,28 abc
3	59629,82 abc	42786,25 abc	1225,72 abc	1272,38 abc
4	61929,12 ab	56944,37 ab	1264,14 ab	1364,14 ab
5	68998,35 a	61062,31 a	1351,82 a	1451,82 a

*Teste de Kruskal Wallis; Medianas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Dunn ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Os tomates em estágio de maturação mais avançado, possuem um alto teor de carotenoides, em comparação com os frutos no estágio verde. Esse processo ocorre devido a degradação da clorofila e à síntese de carotenoides, principalmente o licopeno (VILAS-BOAS et al., 1999). A degradação da clorofila ocorre em decorrência das mudanças de pH, liberação de ácidos orgânicos, aceleração dos processos oxidativos e ação das clorofilases (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Esses resultados corroboram os de Silva et al. (2017), ao quantificarem carotenoides totais em tomates maduros e de vezes, observaram que frutos vermelhos (maduro) tendem a acumular maior quantidade quando comparados aos não vermelhos (de vezes).

Zambrano, Moyeja & Pacheco (1995) avaliaram o teor de licopeno em dois cultivares de tomateiro e concluíram que a síntese de licopeno aumentou progressivamente durante o curso de amadurecimento. Segundo Malacrida et al. (2006), o licopeno é um importante antioxidante em frutos vermelhos maduros, e sua redução tornaria esses frutos mais sensíveis ao estresse oxidativo.

A concentração de licopeno em tomates está ligada a uma melhor percepção visual dos produtos, implicando que há uma grande demanda por aumento da concentração deste pigmento em frutos de cultivares tanto para consumo *in natura* quanto para processamento industrial (de CARVALHO et al., 2018).

O aumento da concentração de licopeno, em frutos maduros, pode ser considerado benéfico, pois pode estar ligado à atividade anticarcinogênica, em tecidos celulares humanos

(TAPIERO et al., 2004). Logo, o licopeno é considerado um potente antioxidante natural, e sua ação, na prevenção de doenças, está diretamente associada a essa característica (MARTÍ et al., 2016).

Esses componentes não podem ser sintetizados por humanos, ressaltando a importância da ingestão de alimentos ricos em carotenoides, como frutas e como legumes. No entanto, os reais benefícios, relacionados à saúde, dependem fortemente da sua biodisponibilidade, ou seja, a fração de um nutriente ingerido, que é liberada, a partir da matriz de alimentos, e disponibilizada para a absorção intestinal (PALMERO et al., 2014).

Os tomates, em estádios mais avançado de maturação, apresentaram capacidade antioxidante maiores do que os tomates imaturos. O fato desses tomates apresentarem maior capacidade, pode ser uma consequência de maiores teores de carotenoides (licopeno), compostos fenólicos, antocianina e flavonoides, identificados nos mesmos. Esses compostos têm a capacidade de atuar como antioxidantes, o que confere essa propriedade aos alimentos que os contêm.

Howard et al. (2000), estudaram os efeitos da maturação, no teor de antioxidantes, em diferentes tipos de pimentas (*C. annuum*, *C. frutescens* e *C. chinense*) e, constataram que a concentração de antioxidantes tende a aumentar, quando as pimentas alcançam a maturidade. Monteiro et al. (2018), por sua vez, observou que a maior atividade antioxidante foi encontrada, quando os frutos de tomate cereja, encontrava-se no estágio 3, de maturação.

O conteúdo de antioxidantes, de tomates *in natura*, pode ser afetado por vários fatores (Shalin et al., 2004). Os efeitos da cultivar, o ambiente de cultivo, o clima, o solo, o estágio de maturação na colheita, o armazenamento pós-colheita e o modo de preparo para o consumo, têm influência direta, sobre a variação de antioxidantes nos frutos (Borguini, 2006).

2.4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nas condições experimentais em que foi realizado este trabalho permitem concluir que, o estágio fisiológico influencia diretamente nas características de qualidade físico-química, nos compostos bioativos e na capacidade antioxidante, uma vez que, houve um efeito significativos em todas as variáveis analisadas.

De uma forma geral, os parâmetros físico-químicos apresentaram uma redução do teor da acidez total titulável; e um aumento do pH, dos sólidos solúveis totais e da relação SST/ATT, para os frutos colhidos em estádios mais avançados de da maturação. Para os compostos bioativos e capacidade antioxidante, os estádios de maturação que se destacaram as maiores concentrações foram os estádios 4 e 5.

.Embora os tomates maduros possuam características sensorias (cor e sabor representado pela relação SST/ATT) e nutricionais superiores aos tomates em estágio de amadurecimento anteriores, sua colheita nesse ponto fica comprometida, devido a sua alta perecibilidade e sensibilidade ao manuseio e transporte. Porém, o tomate pode atingir o estágio de maturação 5 até seu consumo.

Uma avaliação conjunta dos atributos de qualidade pode melhorar a identificação dos estádios de maturação e do acompanhamento do processo de amadurecimento pós-colheita dos frutos, de modo assegurar a entrega de um produto de qualidade aos consumidores.

2.5 REFERÊNCIAS

AGUIAR, R. S.; ZACCHEO, P. V. C.; ATENZEL, N.; COLAUTO, M.; SERA, T.; & NEVES, C. S. V. J. Produção e qualidade de frutos híbridos de maracujazeiro-amarelo no norte do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 37, 130-137.2015.

AOAC - International, Latimer, G, W. Association of Official Analytical Chemistry - Aoac.(2016). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. (20th ed.) Gaithersburg Maryland: Aoac.

ANDERSEN, OM; JORDHEIM M. The anthocyanins. In: Andersen Om; Markham Kr (eds).**Flavonoids: Chemistry, Biochemistry and applications**. 551p. 2006.

ARYAL, S.; BANIIYA, M. K.; DANEKHU, K.; KUNWAR, P.; GURUNG, R.; & KOIRALA, N.Total phenolic content, flavonoid content and antioxidant potential of wild vegetables from WesternNepal. *Plants*, 8(4), 96. 2019.

BELÉM, M. Q. Padronização das frutas. **Revista Agroamazônica**. <http://www.revistaagroamazonia.com.br/12fruticultura-04.htm>>. Acesso em: 10 set. 2021.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; & BERSET, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical methodto evaluate antioxidant activity. **LWT-Food science and Technology**, 28(1), 25-30.

BRASIL. Ministério da Agricultura do Abastecimento e da Reforma Agrária. Portaria nº 553 de 30 de agosto de 1995. Dispõe sobre a Norma de Identidade, Qualidade, Acondicionamento e Embalagem do Tomate in natura, para fins de comercialização e Revoga as especificações de Identidade, Qualidade, Acondicionamento e Embalagem do Tomate, estabelecidas pela Portaria nº. 76, de 25 de fevereiro de 1975. Brasília: **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 1995.

BRAGA, T. R.; PEREIRA, R. C. A.; SILVEIRA, M. R. S.; SILVA, L. R.; SILVA, A. R.; & OLIVEIRA, M. M. T. (2013). Caracterização físico-química de progênes de pimentas (*Capsicum frutescens* L.) cultivadas em Paraipaba, CE. **Scientia Plena**, 9(5). Recuperado de <https://scientiaplenu.emnuvens.com.br/sp/article/view/846>

BORGUINI, R. G. **Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) orgânico: o conteúdo nutricional e opinião do consumidor**. 2002. 110 f. Tese (Mestre em Agronomia / Ciência e Tecnologia de Alimentos). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP, Piracicaba.

BORGUINI, R. G. **Avaliação do potencial antioxidante e algumas características do tomate (*Lycopersicon esculentum*) orgânico em comparação ao convencional**. 2006. 178 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CHAUDHARY, P.; SHARMA, A.; SINGH, B. *ET AL*. Bioactivities of phytochemicals present in tomato. **JFood Sci Technol** 55, 2833–2849 (2018).

CHITARRA, M. I. F.; & CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia manuseio**.2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

CUNHA, A. H. N.; FERREIRA, R. B.; & SANDRI, D. Classificação de tomate Sweet Grape produzido com efluente de esgoto tratado enriquecido. **Global Science And Technology**, 9(2).2016.

DAVIES, J. N.; HOBSON, G. E.; & MCGLASSON, W. B. The constituents of tomato fruit—the influence of environment, nutrition, and genotype. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, 15(3), 205-280. 1981.

DE CARVALHO, P. C.; DE OLIVEIRA MAURO, M.; & OLIVEIRA, R. J. Atividade quimioprotetorado licopeno. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, 28(55), 21-28. 2018.

DOS SANTOS, H. C.; DE SOUSA, T. G.; DE OLIVEIRA DELANI, T. C.; DE SOUZA, H. M.; NASCIMENTO, M. G.; DA SILVA PITTARELLI, B. F.; & MARCOLINO, V. A. Características físico-químicas e aceitação sensorial de tomates secos adicionados de pimenta doce. **Brazilian Journal of Development**, 6(2), 8617-8630. 2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Determinação da atividade antioxidante total; método DPPH**. [Sete Lagoas]: Embrapa milho e sorgo, nov. 2016. n. 07.

FERREIRA, R. M. D. A.; LOPES, W. D. A. R.; AROUCHA, E. M. M.; MANO, N. C. S.; & SOUSA, C. M.G. D. Caracterização física e química de híbridos de tomate em diferentes estádios de maturação produzidos em Baraúna, Rio Grande do Norte. **Revista Ceres**, 59(4), 506-511. 2012.

FRANCIS, F. J. (1982). Analysis of anthocyanins. **Anthocyanins as food colors**, 1, 280.

FREITAS, K., SILVA, S., LOSS, R., & GUEDES, S. Influência dos estádios de maturação na caracterização físicoquímica dos tomates caqui (*var. esculentum*) e italiano (*var. pyriforme*). **Agrarian Academy**, 3(06).2016.

GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; FERNANDO, J.; & ALVAREZ-PARRILLA, E. Phytochemical Changes in the Postharvest and Minimal Processing of Fresh Fruits and Vegetables. **Fruit and vegetable phytochemicals**, 309. 2009.

GÜNDÜZ, K.; & ÖZDEMİR, E. The effects of genotype and growing conditions on antioxidant capacity, phenolic compounds, organic acid and individual sugars of strawberry. **Food chemistry**, 155, 298-303. 2014.

HOWARD, L. R.; TALCOTT, S. T.; BRENES, C. H.; & VILLALON, B. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. **Journal of agricultural and food chemistry**, 48(5), 1713-1720. 2000.

HUI, Y. H.; CHEN, F.; NOLLET, L. M.; GUINÉ, R. P.; MARTÍN-BELLOSO, O.; MÍNGUEZ-MOSQUERA, M.I.; & STANFIELD, P. (Eds.). (2010). **Handbook of fruit and vegetable flavors**. John Wiley and Sons.

KADER, A. A.; MORRIS, L. L.; STEVENS, M. A.; & ALBRIGHT-HOLTON, M. Composition and flavor quality of fresh market tomatoes as influenced by some postharvest handling procedures. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 103(1), 6-13. 1978.

KULBAT, K. (2016). The role of phenolic compounds in plant resistance. **Biotechnol Food Science**, 80 (2), 97-108 Li W., Wang W. 2019.

LIU, H.; MENG, F.; MIAO, H.; CHEN, S.; YIN, T.; HU, S.; & WANG, Q. Effects of postharvest methyl jasmonate treatment on main health-promoting components and volatile organic compounds in cherry tomato fruits. **Food chemistry**, 263, 194-200. 2018.

MAGALHÃES, G. A.; & AQUINO, I. P. (2019) Avaliação da corrosividade do biodiesel metílico e etílico para posterior aditivização. **IX Simpósio de Iniciação Científica, Didática e de Ações Sociais da FEI**.

MALACRIDA, C.; VALLE, E. M.; & BOGGIO, S. B. Postharvest chilling induces oxidative stress response in the dwarf tomato cultivar Micro-Tom. **Physiologia Plantarum**, 127(1), 10-18. 2006.

MALGARIM, M. B.; CANTILLANO, F. R. F.; TREPTOW, R. D. O.; SOUZA, E. L. D.; & COUTINHO, E. F. Estádios de maturação e variação da temperatura de armazenamento na qualidade pós-colheita de ameixas cv. Amarelinha. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 27(1), 29-35.2005.

MARTINS, V., PINELA, J., BARROS, L., CARVALHO, A. M., ROCHA, F., BARATA, A. M., & FERREIRA, I. C. Análise cromatográfica de compostos hidrofílicos em acessos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) conservados ex-situ. **10º Encontro Nacional de Cromatografia**. 2017.

MELO, N. C.; DE SOUZA, L. C.; GOMES, R. F.; DE OLIVEIRA NETO, C. F.; & COSTA, D. L. P. Cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum*) hidropônico sob diferentes níveis de fósforo e potássio em solução nutritiva. **Revista Agroecossistemas**, 6(1), 10-16. 2014.

MONTEIRO, S. S.; MONTEIRO, S. S.; SILVA, E. D.; & MARTINS, L. P. Maturação fisiológica detomate cereja. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, 8(3), 05-09. 2018.

MORAIS, T.B. **Eficiência de doses de nitrogênio e sombreamento na cultura do tomate em cultivo protegido**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria, 78p, 2017.

NEVES, L. C.; ALENCAR, S. D.; & CARPES, S. T. Determinação da atividade antioxidante e do teor de compostos fenólicos e flavonoides totais em amostras de pólen apícola de *Apis mellifera*. **Brazilian Journal of Food Technology**, 7, 107-110. 2009.

PALET, J. S. C. (2012). **Alterações físico-químicas e microbiológicas num produto à base de tomate embalado em Doypack, ao longo do tempo de prateleira** (Doctoral dissertation, Faculdade de Ciências e Tecnologia).

PALMERO, P.; PANOZZO, A.; SIMATUPANG, D.; HENDRICKX, M.; & VAN LOEY, A. Lycopene and β -carotene transfer to oil and micellar phases during in vitro digestion of tomato and red carrot based-fractions. **Food research international**, 64, 831-838. 2014. 2014.

PAULA, J. T.; FARIA, J. T.; MARCOS, V.; FIGUEIREDO, A. S.; SCHWARZ, K.; & NEUMANN, E. R. Características físico-químicas e compostos bioativos em frutos de tomateiro

colhidos em diferentes estádios de maturação. **Horticultura Brasileira**, 33, 434-440. 2015.

POBIEGA, K.; PRZYBYŁ, J.L.; & ŻUBERNIK, J. *et al.* Prolonging the Shelf Life of Cherry Tomatoes by Pullulan Coating with Ethanol Extract of Propolis During Refrigerated Storage. **Food Bioprocess Technol** 13, 1447–1461 (2020).

R CORE TEAM R: Uma linguagem e ambiente para computação estatística. **R Fundação para Computação Estatística**, Viena, Áustria. URL <https://www.R-project.org/>. 2017.

REDIVO, G. D. R. G.; & BALABA, I. J. Monitoramento de perdas em relação a velocidade de trabalho na colheita do milho 2ª safra. **Tech & Campo**, 1(1), 3-16. 2018.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. **A Guide to Carotenoid Analysis in Food**. Washington: ILSI Press, 2001. 64 p.

SHALIN, S. C., ZIRRGIEBEL, U., HONSA, K. J., JULIEN, J. P., MILLER, F. D., KAPLAN, D. R., & SWEATT, J. D. Neuronal MEK is important for normal fear conditioning in mice. **Journal of neuroscience research**, 75(6), 760-770. 2004.

SHARMA, A.; KAUR, M.; KATNORIA, J. K.; & NAGPAL, A. K. Polyphenols in food: Cancer prevention and apoptosis induction. **Current Medicinal Chemistry**, 25(36), 4740- 4757. 2018.

SELEGUINI, A.; SENO, S.; & JÚNIOR, M. J. D. A. F. Híbridos de tomateiro industrial cultivados em ambiente protegido e campo aberto. **Científica**, 35(1), 80-87. 2007.

SOUZA, M. A. D. S. (2018). **Caracterização química de tomate roxo e estudo da metabolização de flavonoides in vitro e in vivo** (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

TRINDADE, D. C. G. D.; LIMA, M. A. C. D.; & ASSIS, J. S. D. 1-methylcyclopropene action on postharvest conservation of Palmer mango fruit at different maturity stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50, 753-762. 2015.

VIEIRA, D. A. P.; CARDOSO, K. C. R.; DOURADO, K. K. F.; CALIARI, M.; JÚNIOR, M. S. S. Qualidade física e química de mini-tomates Sweet Grape produzidos em cultivo orgânico e convencional. **Revista Verde**, v 9, n. 3, p. 100 -108, jul-set, 2014.

VIEIRA, M. I. C.; TAVARES, F. J. C.; PINHEIRO, L. F.; DA SILVA SAMPAIO, V.; & DE LUCENA, E. M. P. Alterações físico-químicas durante o crescimento dos frutos da ubaiazedo. **Brazilian Journal of Development**, 6(8), 58707-58718. 2020.

VILAS BOAS, E. V. B.; CHITARRA, A. B.; MALUF, W. R.; & CHITARRA, M. I. F. Influência do alelo alcobaça em heterozigose sobre a vida de prateleira e qualidade pós-colheita de tomates. **Ciência e Agrotecnologia**, 23, 650-657. 1999.

VINHA, A. F.; ALVES, R. C.; BARREIRA, S. V.; CASTRO, A.; COSTA, A. S.; & OLIVEIRA, M. B. P. Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. **LWT-Food Science and Technology**, 55(1), 197-202. 2014.

ZAMBRANO, J.; MOYEJA, J.; & PACHECO, L. Efecto del estado de madurez en la composición y calidad de frutos de tomate; [Effect of harvest maturity stage on the composition and quality of tomato fruits]. **Agronomía Tropical (Venezuela)**. (Ene-Mar, 46(1), 61-72. 1996.

CAPÍTULO 3 - ARTIGO 2

ESTIMATIVA DOS TEORES DE LICOPENO NO TOMATE CEREJA TIPO *GRAPE* EM DIFERENTE ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO VIA MEDIDAS COLORIMÉTRICAS

RESUMO: O tomate é um das hortaliças mais produzida e consumida no Brasil, tendo aceitabilidade, tanto para o consumo *in natura*, quanto para a industrialização. Apesar da ampla aceitação dos tomates, o consumidor apresenta, como exigência para aquisição do fruto, a qualidade, mensurada através de diversos parâmetros, em especial a cor. O fruto do tomateiro e seus derivados são as principais fontes de licopeno, na dieta humana. A estrutura química única do licopeno, confere atividade antioxidante significativa, auxiliando na prevenção de doenças degenerativas, doenças cardiovasculares e alguns tipos de câncer. Além do benefício nutricional, a concentração de licopeno no tomate, está ligada a uma melhor percepção visual do produto, implicando que há uma grande demanda, por aumento da concentração desse pigmento, em frutos de cultivares, tanto para consumo *in natura*, quanto industrial. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estimar os níveis de correlação, entre os teores de licopeno, presentes em tomates, de diferentes estádios de maturação, determinados via espectrofotometria, com os valores dos componentes de cromaticidade (L^* , a^* e b^*) e ΔE^* , obtidos via medidas colorimétricas. Foram utilizados, para o experimento, tomates cereja, da variedade *sweet heaven* tipo *grape*, cultivados em ambiente protegido no sítio Avestruz no Cerrado, localizado na Zona Rural de Araçuaí-MG. O delineamento experimental utilizado, foi o inteiramente casualizado (DIC), com cinco estádios de maturação (tratamentos) e com dez repetições. As amostras, de tomates coletadas, foram analisadas quanto a cor, utilizando um colorímetro, e, o teor de licopeno, através de métodos laboratoriais convencionais. A calibração dos modelos, foi realizada por meio de regressão. No entanto, o parâmetro b^* apresentou baixa correlação ($R^2 = 0,3084$), mediante a isso, o mesmo não deve ser usado para prever, o teor de licopeno dos tomates. Ao contrário, os modelos para os parâmetros L^* , ΔE^* e a^* apresentaram na validação, baixos valores de Erro Absoluto Médio (EAM), e valores do Índice de concordância de Willmott (d) D, próximos a 1 (0,983; 0,993 e 0,994), respectivamente, valores esses, considerados muito satisfatórios. Estes resultados confirmaram que é possível estimar indiretamente, e com relativa precisão e exatidão, o teor de licopeno, em frutos intactos do tomateiro, em diferente estágio de maturação, a partir de valores de cromaticidade, sem a necessidade de análises laboratoriais complexas, e uso de reagentes químicos.

Palavra Chave: *Solanum lycopersicum* L. Colorímetro. Pigmentos.

ESTIMATION OF LYCOPENE CONTENT IN GRAPE-TYPE CHERRY TOMATOES AT DIFFERENT MATURATION STAGES VIA COLORIMETRIC ANALYSIS

ABSTRACT: Tomato is the most produced and consumed vegetable, having acceptability both for fresh consumption and for industrialization. Despite the wide acceptance of tomatoes, the consumer presents as a requirement for the acquisition of the fruit the quality, measured through several parameters, in particular the color. The tomato fruit and its derivatives are the main sources of lycopene in the human diet. Lycopene's unique chemical structure confers significant antioxidant activity, helping to prevent degenerative diseases, cardiovascular disease and some types of cancer. In addition to the nutritional benefit, the concentration of lycopene in tomatoes is linked to a better visual perception of the product, implying that there is a great demand for increasing the concentration of this pigment in fruits of cultivars for both fresh and industrial consumption. Therefore, the objective of this work was to estimate the levels of correlation between the levels of lycopene present in tomatoes of different maturation stages, determined via spectrophotometry, with the values of the chromaticity components (L^* , a^* and b^*) and ΔE^* obtained via colorimetric measurements. Cherry tomatoes of the sweet heaven grape variety were used for the experiment, grown in a protected environment at the Ostrich site in the Cerrado, located in the Rural Area of Araçuaí. The experimental design used was completely randomized (DIC), with five stages of maturation (treatments) and ten replications. The collected tomato samples were analyzed for color using a colorimeter and for lycopene content using conventional laboratory methods. The models were calibrated using regression, however the parameter b^* showed a low correlation ($R^2 = 0.3084$), therefore, it should not be used to predict the lycopene content of tomatoes. On the contrary, the models for the parameters L^* , ΔE^* and a^* presented low values of Mean Absolute Error (AME) in the validation and values of the Willmott Agreement Index (d) D close to 1 (0.983; 0.993 and 0.994) respectively, these values were considered very satisfactory. These results confirm that it is possible to estimate indirectly, and with relative precision and accuracy, the lycopene content in intact tomato fruits at different stages of maturation from chromaticity values, without the need for complex laboratory analyzes and the use of chemical reagents.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L. Colorimeter. Pigments.

3. INTRODUÇÃO

A crescente busca por alimentos que promovam um estilo de vida mais saudável vem ganhando força, resultando em estudos de substâncias benéficas para o organismo, como o licopeno. O licopeno é um dos antioxidantes mais eficazes entre um grupo de carotenoides, que além de pigmentante, possui função sequestrante de radicais livres (radicais peróxidos e oxigênio molecular), bloqueando-os antes que danifiquem as membranas lipoproteicas (AGUIAR et al., 2022).

Os tomates (*Solanum lycopersicum* L.), além de possuírem micro e macronutrientes, contêm uma série de substâncias com propriedade antioxidantes, que podem ter impacto significativo na prevenção de doenças degenerativas, incluindo alguns tipos de câncer (cervical, mama, trato digestivo, pele, bexiga e principalmente o de próstata), doenças cardiovasculares, catarata e funcionamento do sistema imune (ROCHA et al., 2020). Dentre as tais substâncias destaca-se o licopeno, constituinte cujo o nível pode variar conforme a espécie, genótipo e o grau de maturação do tomate.

O fruto do tomateiro e seus derivados, como suco, sopa, molhos, purês e Kectchup são as principais fontes de licopeno na dieta humana (BEMFEITO et al., 2020). Segundo Oliveira (2019) este composto antioxidante, torna-se mais eficiente quando consumido no tomate do que quando consumido sozinho, certamente em razão do efeito sinérgico de outros compostos contidos neste fruto.

Além dos benefícios nutricionais, o licopeno apresenta uma forte correlação como uma melhor percepção visual dos produtos, existindo, portanto, uma grande demanda por parte dos produtores, processadores e consumidores para aumentar os teores deste pigmento em frutos das cultivares tanto para consumo *in natura* quanto para processamento industrial (NADAI et al., 2015). No entanto, a concentração de licopeno aumenta com a maturidade dos tomates quando os cloroplastos mudam para cromoplastos e a síntese de licopeno aumenta, ocasionando o desenvolvimento da cor vermelha (ARIAS et al., 2000).

Em razão da facilidade e conveniência no uso de medidas de cor, diversos estudos têm correlacionado a cor com o conteúdo de pigmento de diferentes vegetais (MADEIRA, 2015). Uma vez que, o método padrão para determinação de teores de licopeno em tomates (Rodriguez-Amaya, 2001) tem sido basicamente o mesmo usado em outras espécies de hortaliças e frutas. Porém, esta técnica demanda o uso de instrumentos, quantidade excessiva de reagentes, pessoal treinado e tempo despendido, além disso, ocorre a desintegração parcial ou total do fruto e seu resultado não é imediato.

Outro fato é que geralmente as análises destrutivas são efetuadas em uma porção pequena de amostras, podendo não representar adequadamente a variabilidade presente nos frutos (MOURA, 2016).

Entretanto, para contornar tais problemas, diversos ensaios sugerem a possibilidade de utilizar de métodos não destrutivos que permitem buscar informações com facilidade e rápida resposta e repetir medições na mesma amostra. Assim, diferentes tecnologias estão presentes nos vários equipamentos e sensores utilizados nas avaliações não destrutivas dos frutos, dentre eles pode-se mencionar o uso da colorimetria. As medidas de colorimetria vem sendo bastante utilizadas para determinar os estágios da maturação, por se tratar de um método que não causa danos ao fruto e por isso torna-se vantajoso a sua utilização para determinar a correlação entre o desenvolvimento e a alteração de cores que ocorre no fruto (MOTTA et al., 2015).

No entanto, a identificação de elevados níveis de correlação entre medidas colorimétricas e teores de licopeno poderão permitir o estabelecimento de um método mais prático servindo como uma ferramenta no processo de seleção e classificação do fruto do tomateiro. Entretanto, para utilização dessa técnica, é necessário fazer outros tipos e formas de classificação e compará-los, utilizando uma grande amostragem para o desenvolvimento de modelos de classificação e predição, levando-se em consideração atributos de qualidade frequentemente utilizados em campo (ABARRA et al., 2018).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi estimar os níveis de correlação entre os teores de licopeno em tomate cereja *sweet heaven* tipo *grape* em diferentes estágios de maturação, determinados via espectrofotometria, com os valores dos componentes de cromaticidade (L^* , a^* b^*) e ΔE^* obtidos via medidas colorimétricas.

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Compostos Bioativos e Conservação de Alimentos, do Departamento de Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus Sete Lagoas*, em Sete Lagoas-MG.

Nesse trabalho, foram utilizados tomates cereja da variedade “*sweet heaven*” tipo *grape*, cultivados em estufas, no sítio Avestruz no Cerrado, localizado na Zona Rural de Araçáí-MG. Os frutos foram colhidos, aleatoriamente, em cada estágio de maturação, em junho 2021. Em seguida, foram encaminhados, sob refrigeração, para o laboratório, onde foram selecionados quanto à aparência, à ausência de injúrias e à podridões, lavados em água potável, para a

retirada das sujidades do campo. Posteriormente, as amostras foram imersas em solução de água clorada, com concentração de 150 ppm de cloro ativo, por 5 minutos e secos à temperatura ambiente.

Logo após, efetuou-se a divisão dos frutos em cinco classes, conforme a medida da cor instrumental. Os parâmetros colorimétricos foram avaliados, com o auxílio de um colorímetro Konica Minolta, CR410, no espaço de cores L*, a* e b*. As leituras foram realizadas em 3 pontos distintos do fruto, e os resultados foram obtidos, a partir da média.

Os frutos foram separados, de acordo com faixas de valores, dos parâmetros de cor (L*, a* e b*), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Intervalos dos dados colorimétricos referentes à cada classe de maturação.

Estádios de Maturação	Intervalo		
	L	a*	b*
1	54 – 60	(-20) – (-10)	25 – 27
2	48 – 53	(-9) – (1)	23 – 25
3	42 – 47	2 – 12	20 – 22
4	36 – 41	13 – 23	17 – 19
5	30 – 35	24 – 30	14 – 16

O experimento foi conduzido, segundo delineamento experimental, inteiramente casualizado (DIC), com cinco estágios de maturação (tratamentos) e com dez repetições, sendo cada repetição, composta por 5 tomates, totalizando 250 frutos.

3.1.2 Medida da cor instrumental

A cor instrumental foi medida com o auxílio de um colorímetro (KONICA MINOLTA), modelo CR 410, o aparelho foi configurado no sistema L*, a*, b* e calibrado com uma placa branca padrão cerâmica CR-A43 (Figura 1).

Para as medidas colorimétricas, foram utilizados 5 tomates dentro de cada repetição, sendo que a leitura foi realizada em 3 pontos distintos da superfície do tomate e os resultados foram obtidos a partir da média, gerando um total de 250 dados colorimétricos. Após as leituras, dentro de cada repetição foi realizada a média aritmética dos dados colorimétricos totalizando 50 dados.

As medidas foram realizadas na região superior, equatorial e apical do fruto (Figura 1). Para evitar contribuição da reflexão de luz posterior à sua transmissão pelo fruto, foi utilizado uma cabine coberta com um tecido de coloração preto fosco. Neste intuito, o tomate foi posicionado, durante as medidas, entre a mão calçada por uma luva preta e o orifício de projeção de luz.

O parâmetro L corresponde a luminosidade, sendo um demonstrativo de quão clara é a amostra, com valores que assumem de 0 (totalmente preta) a 100 (totalmente branca), a coordenada a* corresponde aos extremos vermelho ao verde, já a coordenada b*, satisfaz a intensidade do azul ao amarelo. Após a leitura direta de reflectância das coordenadas L*, a* e b*, calculou-se o ΔE^* = diferença total de cor, sendo essa calculada pela Equação 1.

$$\Delta E^* = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{1/2} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

ΔL^* = diferença em mais claro e escuro (+ = mais claro, - = mais escuro);

Δa^* = diferença em vermelho e verde (+ = mais vermelho, - = mais verde);

Δb^* = diferença em amarelo e azul (+ = mais amarelo, - = mais azul).



Figura 1: Calibração do colorímetro e as regiões de medições do tomate cereja *sweet heaven* tipo *grape*.

3.1.3 Medidas de pigmentos por métodos convencionais

A concentração de licopeno, nos frutos, foi obtida por análise espectrofotométrica. A determinação de licopeno foi feita de acordo com a metodologia proposta por RODRIGUEZ-AMAYA (2001). Para a extração, 5 g de amostra foram maceradas com acetona em almofariz. Este extrato foi filtrado a vácuo, em funil de Büchner, com progressivas adições de acetona até completar a descoloração. O extrato filtrado foi separado por partição, com adição de éter de petróleo, 100% puro para análise, e água destilada (Figura 2). A leitura da absorbância, do extrato foi efetuada em espectrofotômetro (700S, FEMTO, São Paulo, Brasil) a 470 nm, utilizando uma cubeta de vidro com dois lados polidos de 7 cm³ (1,25 x 1,25 x 4,5 cm), a calibração foi feita com éter de petróleo. O teor de licopeno foi calculado utilizando a equação Equação 2:

$$\text{Licopeno} = \frac{(A \times V \times 10^4)}{(E_{1\text{ cm}}^{1\%} \times P)} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

A = absorbância da amostra (em unidade de absorbância - u.a.);

V = volume final da amostra (mL);

E_{1 cm 1%} = coeficiente de absorção do licopeno em éter de petróleo (equivalente a 3450); e

P = peso da amostra (g).

Os resultados foram expressos em µg. 100g⁻¹ em base seca (BS).

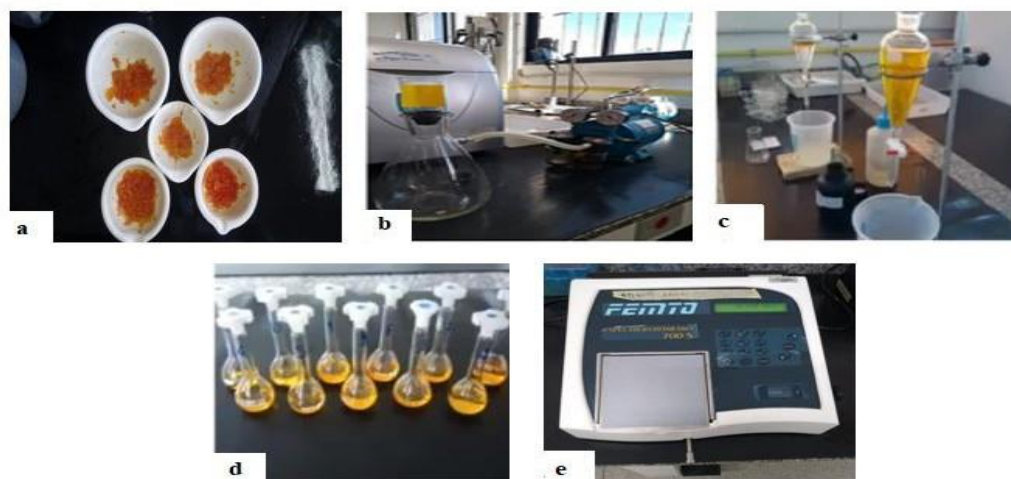


Figura 2: Etapas da análise de licopeno nos tomates cereja *sweet heaven* tipo *grape*: (a) maceração da amostra com acetona pa; (b) filtragem a vácuo do extrato; (c) separação do extratocomo adição de éter de petróleo; (d) solução dos pigmentos em éter de petróleo; (e) leitura no espectrofotometro a 470 nm.

3.1.4 Índices colorimétricos e modelos matemáticos

Modelos de regressão, baseados nas medidas colorimétricas, foram avaliados com o propósito de estimar os teores de licopeno, relacionando os dados colorimétricos, com as medidas de pigmento, determinada pelo método convencional.

Assim, os dados colorimétricos, das 50 amostras de tomates, obtidos por meio do colorímetro, e das suas respectivas medidas, das análises convencionais passaram por uma inspeção inicial. Em seguida, os conjuntos de dados foram divididos em duas partes, sendo 70% dos dados, utilizados para a calibração dos modelos, e 30% dos dados para a validação (teste dos modelos), como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Número de dados utilizados na calibração e na validação dos modelos para determinar o teor de licopeno em tomates cereja *sweet heaven* tipo *grape* em diferentes estádios de maturação.

Pigmento	Dados de calibração	Dados de validação	Total de dados
Licopeno	35	15	50

O conjunto de calibração foi utilizado para desenvolver os modelos. Já o conjunto de validação, foi montado com medidas de amostras, não usadas, no conjunto de calibração (independente). Para avaliar os resultados, da validação externa, os índices estatísticos empregados foram o Erro Absoluto Médio de Estimativa (EAM) (Equação 3) e o Índice de Concordância de Willmott (d) (Equação 4).

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (3)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (4)$$

Em que:

P_i = valor estimado pelo modelo;

O_i = valor de referência obtido pelo método laboratorial; n = número de amostras;

\bar{O}_i = média dos valores de referência obtidos pelo método laboratorial.

Os modelos, com melhores resultados, tanto na calibração quanto na validação, foram então selecionados como adequados, para a estimativa dos teores de licopeno, em tomates cereja tipo *grape*.

3.2 RESULTADO E DISCUSSÃO

O conteúdo médio, de licopeno, dos tomates, em função dos diferentes estádios de maturação, são mostrados na Figura 3. Pode-se observar, que os teores de licopeno apresentaram um aumento, com o avanço dos estádios de maturação, com valores médios variando de 8112,24 a 61.746,79 $\mu\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ BS, com os tomates no estágio 1 (verde), apresentando o menor conteúdo desses compostos, e os frutos no estágio 5 (maduro), o maior (Figura 3).

Segundo Thompson et al. (2000), o teor de licopeno é variável nos frutos, de acordo com o grau de maturação, a cultivar de tomate e os efeitos das condições de cultivo. Comportamento oposto, foi relato por Paula et al. (2015), que avaliando os compostos bioativos, em tomates da variedade (saladete e tinto), colhidos em diferentes estádios de maturação, verificaram que os frutos colhidos, em estádios menos avançado de maturação, encontravam-se maiores conteúdos de licopeno, sendo superiores aos demais estádios. Esse fato, pode ser explicado pela temperatura, que frutos amadurecidos, fora da planta mãe, foram expostos, uma vez que, a temperatura é um importante fator ambiental, no desenvolvimento da cor do tomate (PAULA et al., 2015).

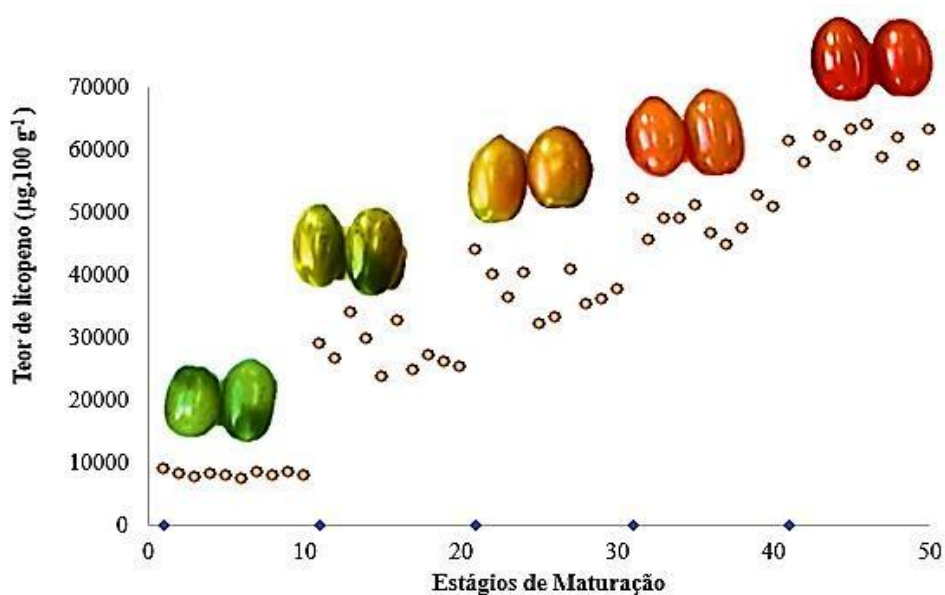


Figura 3: Teores de licopeno do tomate cereja *sweet heaven* tipo *grape* em função dos estádios de maturação.

A cor é, provavelmente, um dos fatores mais determinantes, na aquisição, de frutas e de hortaliças, pelo consumidor, pois é considerada um parâmetro de qualidade pós colheita, uma vez que este, não se experimenta antes da compra, associando assim, a cor favorável, ao paladar.

Com o uso da calibração, é possível obter um modelo, capaz de realizar previsões de uma propriedade, mesmo na presença de interferentes desta propriedade. Na Figura 4, estão relacionados os modelos, para a calibração do teor de licopeno, em tomate cereja *sweet heaven* tipo *grape*, em função dos diferentes estádios de maturação, considerando os dados colorimétricos avaliados.

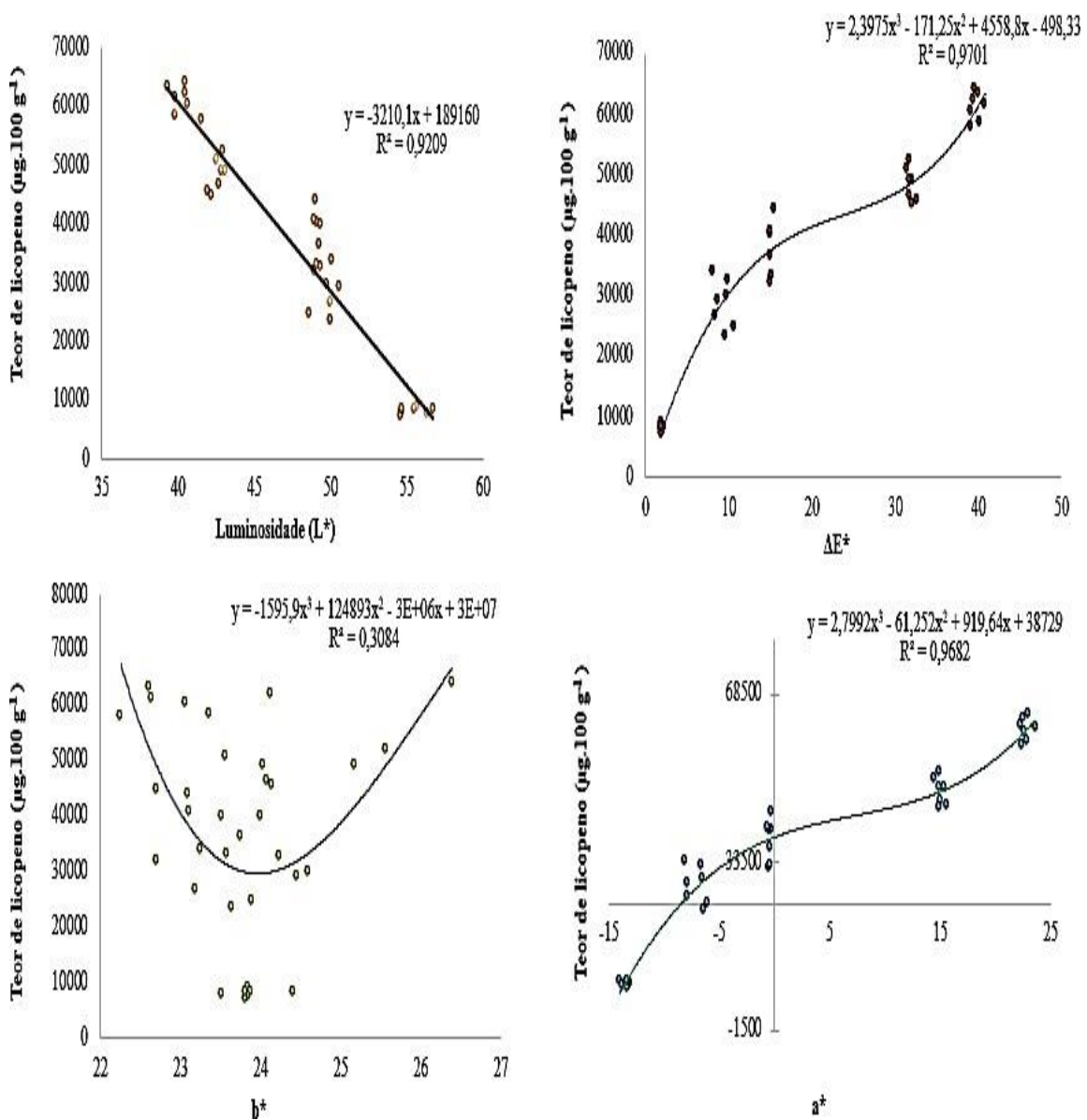


Figura 4: Modelos de calibração do teor de Licopeno em função da L*, a*, b* e ΔE^* em tomate cereja *sweet heaven* tipo *grape* em função dos diferentes estádios de maturação.

A maturação fisiológica é tipicamente acompanhada por mudanças visíveis, na aparência externa e na coloração da casca do fruto (DE LIMA et al., 2018). A luminosidade é um parâmetro, que pode variar do zero (preto) ao 100 (branco), e que mede o quão claro ou escuro o fruto é. Então, quanto mais, claro o fruto, maior o seu valor.

Os valores, do componente acromático L^* (grau de brilho), apresentaram um comportamento linear decrescente, com uma alta correlação com os valores de licopeno $R^2 = 0,9209$. Estes resultados, estão de acordo, com observações prévias, que indicaram que o valor de L^* decai, com o aparecimento da cor vermelha, à medida que os frutos amadurecem, representando a perda de brilho dos frutos, devido à degradação da clorofila e à síntese dos carotenoides, em especial o licopeno (LÓPEZ CAMELO & GÓMEZ, 2004).

Diversos estudos têm demonstrado, elevada estimativa, entre o valor de L^* , na superfície externa e interna do fruto, e o teor de licopeno, em tomate, variando de $R^2 = 0,82$ (D'SOUZA et al., 1992) a 0,84 (ARIAS et al., 2000), valores esses, inferiores aos encontrados nesse trabalho.

Carvalho et al. (2005), estimando o teor de licopeno, em tomates, nos vários estádios de maturação e usando a análise colorimétrica, notaram uma mediana correlação, entre o valor de L^* , tanto para a superfície externa, quanto para a interna dos frutos, e o teor de licopeno, variando de $R^2 = 0,63$ e 0,67, respectivamente.

Comportamento semelhante, foi obtido por Monteiro et al. (2018), que observaram uma diminuição do parâmetro L^* (58,69; 41,86; 40,41 e 37,14), respectivamente, ao longo do período de amadurecimento, do tomate cereja, avaliado em quatro estádios de maturação. No entanto, o estágio de maturação inicial, do tomate cereja, apresentou o maior teor de licopeno, ao ser comparado com os outros estádios de maturação.

Os parâmetros a^* e b^* , têm sido normalmente usados, como índices de maturação dos frutos, e apresentam elevada correlação, com os diferentes estádios de maturação (LOPEZ-CAMELO & GÓMEZ, 2004). No presente estudo, foi calculada a regressão exponencial de grau 3, entre os estádios de maturação (teores de licopeno) e os valores de a^* e b^* (Figura 4).

Os valores de a^* , obtidos das leituras de cromaticidade, realizadas nas paredes externas dos frutos, foi um bom preditor, para os teores de licopeno analisados, $R^2 = 0,9682$. Este resultado era, de alguma forma esperado, uma vez que, o licopeno é um pigmento responsável pela coloração vermelha. Comportamento parecido, foi encontrado na pesquisa realizada por Arias et al. (2000), onde os autores obtiveram uma boa estimativa entre a^* e o licopeno $R^2 = 0,96$ (regressão exponencial). Baldin et al. (2021) também detectaram uma boa estimativa, entre a^*

e os teores de licopeno ($R^2 = 0,91$), seguindo um modelo de primeira ordem, enquanto os parâmetros L^* e b^* , não se ajustaram, a nenhum modelo adequado.

No entanto, em todos os estádios de maturação, observou-se uma baixa estimativa entre os valores de b^* (grau da cor amarela do fruto), e os teores de licopeno nos frutos ($R^2 = 0,3084$) (Figura 3), no qual observou-se, que os pontos encontravam-se dispersos. Diante disso, o mesmo, não deve ser usado para prever o teor de licopeno, dos tomates.

Também os pesquisadores, Carvalho et al. (2005), perceberam uma baixa estimativa entre o valor de b^* , tanto para a superfície externa, quanto para a interna dos frutos, e o teor de licopeno, variando de $R^2 = 0,36$ e $0,27$, respectivamente.

Em relação à diferença de cor (ΔE^*), observou-se que houve uma ótima correlação com o teor de licopeno, sendo que, foi o que apresentou maior $R^2 = 0,9701$ (regressão exponencial grau 3), em comparação com os demais parâmetros, analisados neste trabalho.

Clément et al. (2008), analisando os parâmetros de qualidade em tomates, de diferentes cultivares, de forma não destrutiva, por meio de NIR, obtiveram um modelo de predição de licopeno e de coloração, com alta acurácia ($R^2 = 0,96$ e $R^2 = 0,98$, respectivamente).

O valor de R^2 corresponde à proporção da variação total, dos valores observados, que pode ser explicada pelo modelo de estimação proposto. Entretanto, esses valores podem variar de 0 (zero) a 1 (um), e quanto mais próximos de 1 (um), melhor o ajuste do modelo.

Devido à praticidade e à rapidez, no uso de medidas de cor, via colorímetro, vários estudos têm investigado a correlação, entre o teor de pigmentos e a coloração de diferentes hortaliças, tais como pimentão do tipo “paprika” (RAMAKRISHNAN & FRANCIS, 1973), pimenta vermelha (REEVES, 1987), melancia (PERKINS-VEAZIE et al., 2001) e frutos do tomateiro (D’SOUZA et al., 1992; ARIAS et al. 2000).

Os resultados da validação, podem ser constatados nas Figura 5, juntamente com os valores do erro absoluto médio (EAM) e o índice de concordância de Willmott (d), para as predições do teor de licopeno, de tomate cereja *sweet heaven* tipo *grape*. Dessa forma, o EAM e o D se apresentam como índices fundamentais, na interpretação dos resultados, pois permitem avaliar a precisão e a exatidão dos modelos de estimativa, respectivamente.

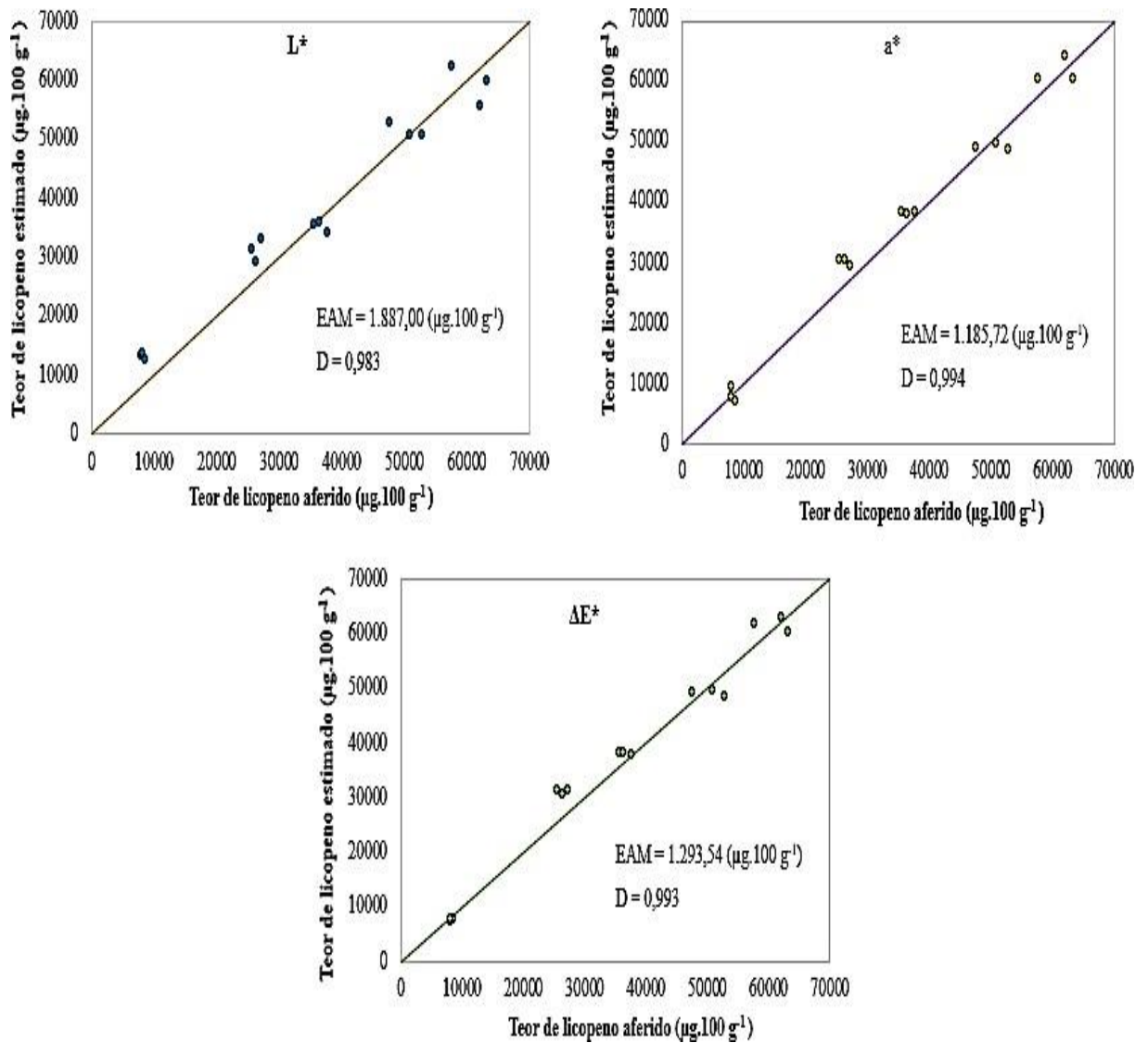


Figura 5: Validação do teor de Licopeno em função da L*, a* e ΔE* em tomate cereja *sweet heaven* tipo *grape* em função dos diferentes estádios de maturação.

De acordo com Matsimbe et al. (2015), o EAM expressa a magnitude do erro do modelo em termos absolutos, onde quanto menor for o erro absoluto médio, menor será o desvio dos valores preditos pelo modelo, em relação aos valores observados. Os valores do EAM neste estudo foram baixos e adequados, porém, o modelo que apresentou o menor valor, foi o a*.

Comportamento oposto, foi observado em outros estudos recentes, que quantificaram carotenoides em cenouras, usando espectroscopia Raman (KRÄHMER et al., 2016) e (KILLEEN et al., 2013). Os autores também observaram que além dos altos valores de erros absolutos médios, os coeficientes de predição não atingiram os mesmos valores de calibração. As possíveis razões para isso são a natureza heterogênea da matriz vegetal, que pode interferir na qualidade do sinal espectral, e o fenômeno de luminescência que não é uniforme para todas

as replicatas.

Nesse trabalho, os melhores modelos, identificados para previsão de licopeno, apresentaram valores de índices de concordância (d), variando entre 0,983; 0,993 e 0,994 para os parâmetros L^* , ΔE^* e a^* , respectivamente (Figura 5). Este índice, representa a exatidão do modelo de estimativa, avaliando o grau de concordância, entre os valores preditos pelo modelo e os valores obtidos pelo método de referência, podendo variar entre 0 e 1. Ressalta-se que, quanto mais próximo de 1 (um), melhor o desempenho do modelo, e, quanto mais próximo de zero, pior é o desempenho. Assim, este índice indica o quanto a linha de tendência de um ajuste, difere da linha 1:1.

De acordo com a Figura 5, todos que apresentaram valores para o índice estatístico D, para parâmetro a^* , foram superiores a 0,90, mostrando que nos modelos gerados, existe uma alta concordância entre os valores preditos pelo modelo e os valores obtidos pelo método de referência. Valor inferior D foi encontrado por Saad et al. (2014), na avaliação da qualidade não destrutiva, do tomate, usando NIR, apresentando 0,79 licopeno. Já Baranska et al. (2006), estimando o teor de licopeno, em frutos de tomate, usando espectroscopia NIR, encontraram valor $D = 0,85$.

3.3 CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram a viabilidade de estimar os teores de licopeno em tomates cereja *sweet heaven* tipo *grape*, utilizando a técnica de colorimetria a partir da medida de a^* . Os modelos para a previsão dos pigmentos obtiveram altos índices de concordância e baixos erros absolutos médios na validação, confirmando uma alta correlação entre os dados colorimétricos e os teores destes pigmentos em tomate cereja tipo *grape*.

Como tal, o método descrito neste trabalho possui uma série de vantagens além da precisão e exatidão, tais como praticidade, economia de custos de reagentes quando comparado a outros métodos tradicionais, contribuindo na preservação do meio ambiente, e baixos custos de implementação, tornando-se uma ferramenta significativa para alcançar a padronização e predição do teor de licopeno. Como resultado, a estratégia descrita anteriormente facilitará a criação de amostras com maior representatividade do tomate a ser avaliado, permitindo estimar de maneira indireta e com maior segurança, o teor de licopeno utilizando-se de um colorímetro.

Além disso, o método é reprodutível, podendo ser uma alternativa rápida, eficiente e econômica para determinação destes parâmetros em alimentos diversificados.

3.4 REFERÊNCIAS

- ABARRA, M. S. J.; SERRANO, E. P.; SABULARSE, V. C.; MENDONZA, H. E. T.; ROSARIO, E. J. Determination of Fruit Ripeness Degree of 'Carabao' Mango (*Mangifera indica* L.) using Digital Photometry. **Philippine Journal of Science**, v. 147, n. 2, p. 249-253. 2018.
- AGUIAR, F. C. D. O.; GUARIGLIA, B. A. D.; BRITO, A. A. D.; CAMPOS, L. F. C., NASCIMENTO, A. D.R.; CORRÊA, G. D. C.; & CUNHA JUNIOR, L. C. Validação prática de modelos de infravermelho próximo para tomate: sólidos solúveis e acidez. **Rev. Ciênc. Agrovet.(Online)**, 114-122. 2022.
- ARIAS, R.; LEE, T.C.; LOGENDRAL.; JANES, H. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hidroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.48, p.1697-1702. 2000.
- BADIN, E.; QUEVEDO-LEON, R.; IBARZ, A. *et al.* Modelagem Cinética da Degradação Térmica da Cor, Licopeno e Ácido Ascórbico em Tomate Triturado. **Food Bioprocess Technol** 14, 324-333(2021).
- BARANSKA, M., SCHUTZE, W. AND SCHULZ, H. Determination of Lycopene and β -Carotene Content in Tomato Fruits and Related Products: Comparison of FT-Raman, ATR-IR, and NIR Spectroscopy. *Anal. Chem.* 78: 8456-8461. 2006.
- BEMFEITO, C. M., RIBEIRO, A. P. L., PEREIRA, R. C., & ANGELIS-PEREIRA, M. C. Carotenoides em alimentos: Fatores interferentes na biossíntese e estabilidade frente ao processamento. Cordeiro, Carlos Alberto Martins. **Tecnologia de Alimentos: tópicos físicos, químicos e biológicos**. Belo Horizonte: Editora Científica, 445-465. 2020.
- CARVALHO, W.; FONSECA, M.E.D.N.; SILVA, H.R.D.; BOITEUX, L.S.; & GIORDANO, L.D.B. Estimativa indireta de teores de licopeno em frutos de genótipos de tomateiro via análise colorimétrica. **Horticultura Brasileira**, 23, 819-825. 2005.
- CLÉMENT, A.; DORAIS, M.; VERNON, M. NONDESTRUCTIVE Measurement of Fresh Tomato Lycopene Content and Other Physicochemical Characteristics Using Visible - NIR Spectroscopy. **J AgricFood Chem.** 2008; 56:9813 115 8.
- D'SOUZA, M.C.; SINGHA, S.; MORRIS I. Lycopene concentration of tomato fruit can be estimated from chromaticity values. **HortScience**, v.27, n.5, p.465-466. 1992.
- DE LIMA, T. L. B.; CARNEIRO, E.; & DA, R. M. (2018). Caracterização físico-química da casca de jabuticaba em diferentes estádios fisiológicos. **Congresso Técnico Científico da Engenharia da Agronomia – CONTECC'2018** 21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil.
- KILLEEN, D. P. et al. Quantitative raman spectroscopy for the analysis of carrot bioactives. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 11, p. 2701–2708, 2013.
- KRÄHMER, A. et al. Quantifying biochemical quality parameters in carrots (*Daucus carota* L

) –FT-Raman spectroscopy as efficient tool for rapid metabolite profiling. **Food Chemistry**, v. 212, p. 495–502, 2016. LÓPEZ CAMELO, A.F.; & GÓMEZ, P.A. Comparison of color indexes for tomato ripening. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, p.534-537. 2004.

MADEIRA, A. M.B. **Extração e quantificação de carotenoides provenientes de diferentes cultivares de capsicum annum L. com interesse para indústria farmacêutica.** 2015, 88 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, Faculdade de Ciências da Saúde, Porto.

MATSIMBE, S.F.S.; MOTOIKE, S.Y.; PINTO, F.A.C.; LEITE, H.G.; MARCATTI, G.E. Prediction of oil content in the mesocarp of fruit from the macauba palm using spectrometry. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 21-28. 2015.

MOTTA, JEDMAN DANTAS et al. Índice de cor e sua correlação com parâmetros físicos e físico-químicos de goiaba, manga e mamão. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p. 74- 82. 2015.

MONTEIRO, S. S.; SILVA, E. A.; MARTINS, L. P. Maturação fisiológica de tomate cereja. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, 8(3), 05-09. 2018.

MOURA, L. D. O. **Estimativa de pigmentos em alfaces cultivadas em diferentes sistemas de produção com base na espectrometria.** 2016, 106 f. Dissertação (Mestrado em ciências agrárias) - Curso de Pós-Graduação em Ciências agrária, Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas

NADAI, F. B.; MENEZES, J. B. DE C.; CATÃO, H. C. R. M.; ADVÍNCULA, T.; COSTA, C. A. Produção de mudas de tomateiro em função de diferentes formas de propagação e substratos. **Revista Agro@mbiente on-line**. v. 9(3), p. 261. 2015.

OLIVEIRA, B. C. (2019). **Desenvolvimento e caracterização de sorvete enriquecido com licopeno.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

PAULA, J. T., FARIA, J. T., MARCOS, V., FIGUEIREDO, A. S., SCHWARZ, K., & NEUMANN, E. R. Características físico-químicas e compostos bioativos em frutos de tomateiro colhidos em diferentes estádios de maturação. **Horticultura Brasileira**, 33, 434-440. 2015.

PERKINS-VEAZIE, P.; COLLINS, J.K.; PAIR, S.D.; ROBERTS, W. Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. **Journal of Science Food and Agriculture** v.81, p.983-987. 2001.

RAMAKRISHNAN, T. & FRANCIS, F. Color and carotene changes in heated paprika. **Journal of Food Science**, v.39, n.1, p.25-28. 1973.

REEVES, M. Re-evaluation of Capsicum color data. **Journal of Food Science**, v.52, p.1047-1049. 1987.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. (2001). **A guide to carotenoid analysis in foods** (pp. 5-10). Washington: ILSI press.

ROCHA, A. M.; DOS ANJOS CHAGAS, A. A.; OLIVEIRA, G. C.; DA SILVA, E. C.; DA SILVA, W. A.; & DEALMEIDA CARLOS, L. Quality of grape tomatoes in different cultivation systems. **Research, Society and Development**, 9(10). 2020.

SAAD, A.G et al. Non-destructive quality evaluation of intact tomato using VIS-NIR spectroscopy. **International Journal of Advanced Research** 2: 632-639. 2014.

THOMPSON, K.A, MARSHALL, M.R, SIMS, C.A, SARGENT, S.A, SCOTT, J.W. Cultivar, maturity, and heat treatment on lycopene content in tomatoes. **Journal of Food Science** 6: 791-795. 2000.