



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

GABRIELLA CORREIA GOMES

**QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE HÍBRIDOS DE
TOMATEIRO PORTADORES DE ALELOS
MUTANTES DE AMADURECIMENTO**

Londrina
2026

GABRIELLA CORREIA GOMES

**QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE HÍBRIDOS DE
TOMATEIRO PORTADORES DE ALELOS
MUTANTES DE AMADURECIMENTO**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Juliano Tadeu Vilela de Resende

Londrina
2026

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

G633q Gomes, Gabriella Correia Gomes.
Qualidade pós-colheita de híbridos de tomateiro portadores de alelos mutantes de amadurecimento / Gabriella Correia Gomes Gomes. - Londrina, 2026.
93 f. : il.

Orientador: Juliano Tadeu Vilela de Resende.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2026.
Inclui bibliografia.

1. Qualidade pós-colheita de híbridos de tomateiro portadores de alelos mutantes de amadurecimento - Tese. I. Tadeu Vilela de Resende, Juliano. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

GABRIELLA CORREIA GOMES

**QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE HÍBRIDOS DE
TOMATEIRO PORTADORES DE ALELOS
MUTANTES DE AMADURECIMENTO**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Juliano Tadeu Vilela de Resende
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Sergio Ruffo Roberto
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Wilson Roberto Maluf
Universidade Federal de Lavras - UFLA

Londrina, 27 de fevereiro de 2026.

AGRADECIMENTOS

A Deus;

À minha família, pelo apoio, amor e incentivo incondicional em todos os momentos;

Ao meu namorado, pelo companheirismo, apoio constante e por estar ao meu lado durante toda essa jornada;

Aos meus amigos, pela amizade, incentivo e por tornarem essa caminhada mais leve;

Ao Prof. Dr. Juliano Tadeu Vilela de Resende, pela orientação, confiança, ensinamentos, amizade e por todo o apoio ao longo deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Sergio Ruffo Roberto, pelas contribuições, sugestões e participação na banca examinadora;

Ao Prof. Dr. Wilson Roberto Maluf, pelas contribuições, participação na banca e pela concessão do germoplasma utilizados nesta pesquisa;

À Universidade Estadual de Londrina (UEL) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do curso e pela contribuição em minha formação acadêmica;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

À equipe do LABHOR – Laboratório de Hortaliças da UEL, pelo apoio e colaboração na execução desta pesquisa;

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

GOMES, Gabriella Correia. **Qualidade pós-colheita de híbridos de tomateiro portadores de alelos mutantes de amadurecimento**. 2026. 93. Dissertação de mestrado (Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2026.

O tomateiro destaca-se como uma das hortaliças de maior relevância econômica mundial, sendo amplamente cultivado para consumo *in natura* e processamento industrial. Entretanto, a elevada perecibilidade dos frutos compromete atributos de qualidade e reduz a vida útil pós-colheita, impactando negativamente a cadeia produtiva. Entre as estratégias genéticas utilizadas para retardar o amadurecimento e ampliar a conservação dos frutos, destacam-se o uso de alelos mutantes *ripening inhibitor* (*rin*) e *alcobaça* (*nor^A*), que modulam a regulação transcricional do amadurecimento. Contudo, tais alelos podem comprometer a intensidade da coloração e características sensoriais. Nesse contexto, alelos intensificadores da via de biossíntese de carotenoides, como *old gold-crimson* (*og^c*), surgem como alternativa para compensar possíveis limitações pigmentares e manter o padrão comercial de qualidade. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos isolados e combinados dos alelos *rin*, *nor^A* e *og^c* em híbridos de tomateiro, visando identificar constituições genotípicas capazes de promover maior qualidade de fruto, intensificação da coloração e melhor conservação pós-colheita, sem prejuízo ao desempenho produtivo. Foram avaliados 15 híbridos experimentais portadores de combinações alélicas entre *rin*, *nor^A* e *og^c*, além do híbrido comercial Pietra, em delineamento de blocos casualizados completos com quatro repetições. Foram analisadas características físico-químicas e produtivas, incluindo firmeza inicial e meia-vida da firmeza, coloração interna e externa, espessura de polpa, teor de sólidos solúveis, cicatriz peduncular, massa total de frutos por planta, massa média de frutos e produção total. Os dados foram submetidos à verificação dos pressupostos estatísticos, seguidos de análise de variância ou teste de Kruskal-Wallis, comparação de médias pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$) e estimativa de contrastes não ortogonais. Os resultados evidenciaram que o alelo *og^c*, especialmente em homozigose, foi determinante para a intensificação da coloração interna e externa, inclusive após armazenamento. A presença isolada de *+rin* não garantiu superioridade consistente para firmeza ou produtividade, evidenciando forte dependência do *background* genético. A constituição *+rin +nor^A og^c/og^c* destacou-se por apresentar desempenho equilibrado para intensidade de cor, conservação pós-colheita e rendimento. Conclui-se que a interação epistática entre alelos regulatórios do amadurecimento e alelos metabólicos da via de biossíntese de carotenoides constitui estratégia promissora para o desenvolvimento de híbridos com qualidade superior e estabilidade agrônômica.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L.; Extra longa vida; Firmeza de frutos; *Ripening inhibitor* (*rin*), *non ripening* (*nor*), *alcobaça* (*nor^A*) e *old gold-crimson* (*og^c*).

ABSTRACT

GOMES, Gabriella Correia. **Post-harvest quality of tomato hybrids with mutant ripening alleles**. 2026. 93. Master's thesis (Agronomy) – Center for Agricultural Sciences, Department of Agronomy, State University of Londrina, Londrina, 2026.

Tomato stands out as one of the most economically important vegetable crops worldwide, being widely cultivated for fresh consumption and industrial processing. However, the high perishability of fruits compromises quality attributes and reduces postharvest shelf life, negatively impacting the production chain. Among the genetic strategies used to delay ripening and extend fruit conservation, the use of *ripening inhibitor* (*rin*) and *alcobaça* (*nor^A*) mutant alleles is prominent, as they modulate the transcriptional regulation of ripening. Nevertheless, these alleles may impair color intensity and sensory characteristics. In this context, carotenoid biosynthesis-enhancing alleles such as *old gold-crimson* (*og^c*) emerge as an alternative to compensate for potential pigment limitations and maintain commercial quality standards. The objective of this study was to evaluate the isolated and combined effects of *rin*, *nor^A*, and *og^c* alleles in tomato hybrids, aiming to identify genotypic constitutions capable of promoting improved fruit quality, enhanced color development, and extended postharvest conservation without compromising yield performance. Fifteen experimental hybrids carrying allelic combinations of *rin*, *nor^A*, and *og^c*, along with the commercial hybrid Pietra, were evaluated in a randomized complete block design with four replications. Physicochemical and yield-related traits were assessed, including initial firmness and firmness half-life, internal and external color parameters, mesocarp thickness, soluble solids content, peduncle scar, total fruit mass per plant, average fruit mass, and total yield. Data were tested for statistical assumptions, followed by analysis of variance or the Kruskal–Wallis test, mean comparisons using Duncan's test ($p \leq 0.05$) and estimation of non-orthogonal contrasts. Results demonstrated that the *og^c* allele, particularly in homozygosity, was decisive for enhancing internal and external color intensity, even after storage. The isolated presence of $\pm/rin$ did not ensure consistent superiority for firmness or productivity, indicating strong dependence on genetic *background*. The genotype $\pm/rin \pm/nor^A og^c/og^c$ showed balanced performance for color intensity, postharvest conservation, and yield. It is concluded that epistatic interactions between ripening regulatory alleles and carotenoid biosynthesis-related alleles represent a promising strategy for developing hybrids with superior quality and stable agronomic performance.

Key-words: *Solanum lycopersicum* L.; Extra long shelf life; Fruit firmness; *Ripening inhibitor* (*rin*), *non ripening* (*nor*), *alcobaça* (*nor^A*) and *old gold-crimson* (*og^c*).

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Produção de mudas de tomate. A – Semeadura em caixas de polipropileno; B- Repicagem das mudas para bandejas de poliestireno expandido; C- Manutenção das mudas em casa de vegetação; D - Transplantio das plantas 39
- Figura 2** – Fruto de tomate no estágio *breaker* de maturação 41
- Figura 3** – Determinação da firmeza. A – Medida do maior diâmetro (a); B – Medida do menor diâmetro (b)..... 42
- Figura 4** – Variação da coloração externa de frutos de híbridos de tomateiro no estágio *breaker* e após 18 dias de armazenamento, evidenciando diferenças fenotípicas associadas às constituições genotípicas para os loci *rin*, *nor^A* e *og^c* 70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Híbridos de tomateiro e suas constituições genótípicas	38
Tabela 2 – Manejo fitossanitário.....	40
Tabela 3 – Valores médios de luminosidade (L^*), croma (C^*) e ângulo de tonalidade (h°), expresso em graus, da polpa dos frutos de tomate dos híbridos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2)	50
Tabela 4 – Contrastes não ortogonais entre genótipos de tomateiro com diferentes constituições genótípicas $+nor^A$ e $+rin$, isoladas ou combinadas no mesmo genótipo, bem como suas interações com os locos $+og^c$ e og^c/og^c , em dois backgrounds genéticos distintos.....	51
Tabela 5 – Estimativas de contrastes não ortogonais de genótipos de tomate portadores de alelos mutantes de amadurecimento e/ou coloração, em relação a luminosidade (L^*), croma (C^*) e ângulo de tonalidade (h), expresso em graus, da polpa dos frutos de tomate dos genótipos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2)	52
Tabela 6 – Valores médios de luminosidade (L^*), croma (C^*) e ângulo de tonalidade (h°), expresso em graus, da placenta dos frutos de tomate dos híbridos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2)	57
Tabela 7 – Estimativas de contrastes não ortogonais de genótipos de tomate portadores de alelos mutantes de amadurecimento e/ou coloração, em relação a luminosidade (L^*), croma (C^*) e ângulo de tonalidade (h), expresso em graus, da placenta dos frutos de tomate dos genótipos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2)	58
Tabela 8 – Valores médios de luminosidade (L^*), croma (C^*) e ângulo de tonalidade (h°), expresso em graus, da columela dos frutos de tomate dos híbridos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2)	63
Tabela 9 – Estimativas de contrastes não ortogonais de genótipos de tomate portadores de alelos mutantes de amadurecimento e/ou coloração, em relação a luminosidade (L^*), croma (C^*) e ângulo de tonalidade (h), expresso em graus, da columela dos frutos de tomate dos genótipos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2).	64
Tabela 10 – Valores médios de luminosidade (L^*), croma (C^*) e ângulo de tonalidade (h°),	

expresso em graus, da epiderme dos frutos de tomate dos híbridos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2)..... 68

Tabela 11 – Estimativas de contrastes não ortogonais de genótipos de tomate portadores de alelos mutantes de amadurecimento e/ou coloração, em relação a luminosidade (L*), croma (C*) e ângulo de tonalidade (h), expresso em graus, da epiderme dos frutos de tomate dos genótipos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2).69

Tabela 12 – Características de qualidade de frutos de tomate dos híbridos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2). Espessura de polpa (mm), sólidos solúveis (°Brix) e cicatriz peduncular (mm). 74

Tabela 13 – Características de qualidade de frutos de tomate dos híbridos avaliados. Firmeza inicial de frutos no estágio *breaker* (A₀) em N m⁻² e meia vida da firmeza (T) em dias. 79

Tabela 14 – Estimativas de contrastes não ortogonais de genótipos de tomate portadores de alelos mutantes de amadurecimento e/ou coloração, em relação a firmeza inicial de frutos no estágio *breaker* (A₀) em N m⁻² e meia vida da firmeza (T) em dias....80

Tabela 15 – Características produção de frutos de tomate dos híbridos avaliados. Massa média dos frutos (MMF) em g/fruto, massa total de frutos por planta (MT/planta) em kg/planta e produção total de frutos (PTF) em kg. 84

Tabela 16 – Estimativas de contrastes não ortogonais de genótipos de tomate portadores de alelos mutantes de amadurecimento e/ou coloração, em relação a massa média dos frutos (MMF) em g/fruto, massa total de frutos por planta (MT/planta) em kg/planta e produção total de frutos (PTF) em kg.85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	A IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO TOMATEIRO	15
2.2	ASPECTOS BOTÂNICOS	16
2.3	PROCESSO DE AMADURECIMENTO E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA	17
2.4	ATRIBUTOS DE QUALIDADE DOS FRUTOS.....	18
2.4.1	Firmeza.....	18
2.4.2	Coloração	20
2.5	ALELOS MUTANTES <i>ALCOBAÇA</i> (<i>NOR^A</i>), <i>NON-RIPENING</i> (<i>NOR</i>), <i>RIPENING-INHIBITOR</i> (<i>RIN</i>) E <i>OLD GOLD CRIMSON</i> (<i>OG^C</i>) NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA	21
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
3	ARTIGO A – QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE HÍBRIDOS DE TOMATEIRO PORTADORES DE ALELOS MUTANTES DE AMADURECIMENTO.....	33
3.1	RESUMO	33
3.2	ABSTRACT.....	34
3.3	INTRODUÇÃO.....	35
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	37
3.4.1	Local do Ensaio.....	37
3.4.2	Material Experimental.....	37
3.4.3	Condução Experimental e Delineamento.....	39
3.4.4	Variáveis Analisadas.....	41
3.4.4.1	Características de qualidade de frutos	41
3.4.4.1.1	<i>Firmeza dos frutos</i>	42
3.4.4.1.2	<i>Coloração dos frutos</i>	43
3.4.4.1.3	<i>Cicatriz peduncular</i>	44
3.4.4.1.4	<i>Espessura do mesocarpo</i>	44
3.4.4.1.5	<i>Teor de sólidos solúveis (SS)</i>	44
3.4.4.2	Componentes de produção	44
3.4.4.2.1	<i>Massa total de frutos por planta</i>	45
3.4.4.2.2	<i>Massa média dos frutos</i>	45

3.4.4.2.3	<i>Produção total de frutos</i>	45
3.4.5	Análise Estatística	45
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
3.5.1	Características de Qualidade de Frutos	46
3.5.1.1	Coloração interna de frutos	46
3.5.1.2	Coloração externa de frutos	65
3.5.1.3	Espessura de polpa, sólidos solúveis e cicatriz peduncular	71
3.5.1.4	Firmeza dos frutos.....	76
3.5.2	Componentes de Produção.....	81
3.6	CONCLUSÕES	86
4	CONCLUSÕES GERAIS	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
	ANEXOS	93
	ANEXO A - ANÁLISE DE SOLO.....	93

1 INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) representa uma das hortaliças mais cultivadas mundialmente, em razão de sua expressiva relevância econômica e valor nutricional. É amplamente destinado ao consumo *in natura* e ao processamento, configurando-se como fonte significativa de nutrientes e compostos bioativos para diferentes populações.

A crescente exigência dos mercados consumidores tem direcionado esforços de pesquisa para o aprimoramento de atributos físico-químicos dos frutos, incluindo tamanho, textura, firmeza, coloração e teores de carotenoides, incluindo licopeno e betacaroteno, além de características associadas à longevidade pós-colheita, essenciais para atender padrões comerciais e reduzir perdas durante a distribuição e armazenamento.

Apesar dos avanços tecnológicos na produção, o fruto em geral apresenta alta perecibilidade, decorrente do seu metabolismo respiratório climatérico, que acelera o processo de maturação e deterioração. Esse fenômeno fisiológico promove aumentos expressivos na taxa respiratória e na biossíntese de etileno, resultando em rápidas modificações na textura, integridade da parede celular e na pigmentação, fatores que reduzem o intervalo disponível para comercialização e consumo.

O desenvolvimento de cultivares híbridas tem proporcionado ganhos expressivos, incorporando atributos como uniformidade de produção, precocidade, resistência genética a fitopatógenos e maior capacidade de conservação pós-colheita. Entretanto, a extensão da vida útil do fruto depende, em grande parte, do controle do processo de amadurecimento, o qual pode ser modulado por meio da manipulação genética de *loci*-chave envolvidos nesse mecanismo fisiológico.

Nesse contexto, a introgressão de alelos mutantes como *ripening inhibitor* (*rin*), *non ripening* (*nor*) e *alcobaça* (*nor⁴*) tem se destacado como estratégia eficiente para retardar o amadurecimento e aumentar a vida de prateleira dos frutos. Esses alelos apresentam efeitos pleiotrópicos sobre a regulação do amadurecimento, modulando a biossíntese de etileno, a degradação enzimática da parede celular e o acúmulo de pigmentos carotenoides. Estudos indicam que, quando utilizados em heterozigose, os alelos permitem o retardo da maturação sem comprometer de forma significativa, a coloração e a textura dos frutos. Em homozigose, contudo, podem provocar coloração incompleta e firmeza excessiva, reduzindo a aceitabilidade comercial.

Adicionalmente, o alelo *old gold-crimson* (*og^c*), associado à intensificação da pigmentação e ao aumento do teor de licopeno, apresenta potencial de combinação com alelos mutantes de amadurecimento, favorecendo a obtenção de frutos com coloração vermelha intensa e elevado valor nutricional. A associação desses alelos, em condição heterozigótica, tem demonstrado efeitos complementares, mitigando limitações fenotípicas de mutantes individuais e possibilitando o desenvolvimento de híbridos de longa vida com desempenho agrônômico e qualidade superior.

Assim, o objetivo da pesquisa foi avaliar os efeitos, isolados e combinados, dos mutantes *rin* (*ripening inhibitor*), *nor^A* (*alcobaça*) e *og^c* (*old-gold crimson*) em híbridos de tomateiro, com diferentes *backgrounds* genotípicos, visando identificar combinações genéticas capazes de promover frutos com atributos de qualidade superior e maior conservação pós-colheita.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO TOMATEIRO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) está entre as hortaliças mais cultivadas em todo o mundo, destacando-se por sua relevância socioeconômica e valor nutricional (ALVARENGA, 2013). Amplamente consumido, o fruto é reconhecido como importante componente da dieta humana, pois apresenta diversos compostos benéficos à saúde, incluindo compostos nutracêuticos, flavonoides, antioxidantes e carotenoides. Além disso, possui propriedades anti-inflamatórias que auxiliam na prevenção de doenças cardiovasculares (HEFFERON, 2016). Entre os carotenoides, o licopeno se sobressai por sua eficácia na prevenção de determinados tipos de câncer, como o de próstata, ovário e intestino.

Além do consumo *in natura*, o tomate também é amplamente empregado pela agroindústria na produção de molhos, sucos, ketchups e outros derivados enlatados, configurando-se como uma das hortaliças mais industrializadas no cenário mundial (ZANIN *et al.*, 2018; MIRONDO; BARRINGER, 2015).

Nos últimos anos, o setor tem-se consolidado como um importante segmento econômico. No Brasil, o valor de mercado é estimado em cerca de 200 milhões de dólares, gerando aproximadamente 300 mil empregos diretos (ABCSEM, 2019; TREICHEL *et al.*, 2016) e garantindo rentabilidade para médios e pequenos produtores (ALVARENGA, 2013).

Em 2023, a produção mundial atingiu aproximadamente 192 milhões de toneladas, em uma área de 5 milhões de hectares. A China lidera a produção global, com cerca de 70 milhões de toneladas, seguida pela Índia, com 20 milhões de toneladas e pela Turquia, com 13 milhões de toneladas. O Brasil ocupa a oitava posição, com 4,1 milhões de toneladas de frutos produzidos (FAOSTAT, 2025).

No Brasil, a área colhida foi de 59 mil hectares, com rendimento médio de aproximadamente 70 toneladas por hectare (FAOSTAT, 2025). A estimativa da produção para a safra 2025 foi de 4,5 milhões de toneladas. Os maiores produtores nacionais de tomate são Goiás, com 1,5 milhões de toneladas, seguido de São Paulo, com 1,1 milhões de toneladas e Minas Gerais, com 557,6 milhões de toneladas. (IBGE, 2025).

A domesticação da espécie teve início com os povos indígenas mexicanos

e, a partir de 1544, foi difundida por colonizadores espanhóis para diversas regiões do mundo (BAUCHET; CAUSSE, 2012; SAAVEDRA *et al.*, 2017; FURQUIM *et al.*, 2021).

No Brasil, o cultivo foi introduzido no final do século XIX por imigrantes europeus, com expressivo crescimento da produção e do consumo a partir da Primeira Guerra Mundial, em 1918. Na década de 1940, surgiu o tomate ‘Santa Cruz’, resultado de cruzamentos e seleções realizadas por produtores, marcando o início da exploração econômica da cultura no país (FILGUEIRA, 2008; ALVARENGA, 2013).

Embora o processo de domesticação e o melhoramento genético tenham contribuído para o aumento da produtividade, também promoveram erosão genética. Nesse contexto, a introdução de híbridos de “longa vida” em 1988 representou uma transformação tecnológica significativa no Brasil. Esses híbridos incorporam alelos mutantes de amadurecimento, permitindo maior durabilidade e conservação pós-colheita. (NATALINI, *et al.*, 2021).

O tomateiro cultivado (*Solanum lycopersicum* L.) é uma planta autógama e diploide ($2n=24$), com 12 pares de cromossomos e genoma de aproximadamente 950 Mb. É considerado de pequeno tamanho e de fácil mapeamento genético devido à ampla disponibilidade de marcadores moleculares associados a características de importância biológica e agrícola (GONÇALVES *et al.*, 2008; SALAZAR, 2011).

Apesar da importância econômica do tomate longa vida, o mercado brasileiro é caracterizado pelo predomínio de cultivares importadas, inexistindo cultivares nacionais que garantam conservação satisfatória dos frutos na pós-colheita. Isso leva à dependência de tecnologias importadas, elevando o custo de produção.

2.2 ASPECTOS BOTÂNICOS

O tomateiro pertence à família das solanáceas, sendo considerado uma planta semiperene, entretanto, cultivada como anual (ALVARENGA, 2013). O hábito de crescimento está diretamente relacionado à presença ou ausência de dominância apical, originando dois tipos principais, o determinado, característico de cultivos rasteiros voltados ao processamento industrial, e o indeterminado, utilizado na produção de frutos para consumo in natura, também conhecidos como tomates de mesa (MALUF *et al.*, 2010; ALVARENGA, 2013).

Morfologicamente, apresenta caule flexível, com diversas ramificações laterais, podendo ser classificado como herbáceo-arbustivo, de crescimento ereto, semiereto

ou rasteiro (ALVARENGA, 2013; FILGUEIRA, 2008). As folhas são dispostas em pares, de forma oposta e alternada, na maioria das espécies. As flores, por sua vez, são compostas por pétalas, sépalas, estames e estigma. O fruto é do tipo baga, podendo variar em geral de coloração vermelho a amarelo, quando há presença de carotenoides, ou verde a roxo, quando há predominância de antocianinas (MAGAÑA *et al.*, 2013; PERALTA, 2006).

2.3 PROCESSO DE AMADURECIMENTO E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA

O processo de amadurecimento dos frutos, geneticamente controlado, envolve uma sequência coordenada de alterações fisiológicas e bioquímicas que determinam características como textura, sabor, pigmentação, aroma, composição nutricional, resistência a doenças e conservação pós-colheita dos frutos (HOBSON; GRIESON, 1993; MOORE *et al.*, 2002; FARIA *et al.*, 2006; PAULA *et al.*, 2015; LI *et al.*, 2020).

Durante o amadurecimento ocorre um aumento gradativo da atividade metabólica que resulta na degradação da clorofila, produção acentuada de açúcares, síntese de carotenoides, aumento nas taxas de CO₂, redução de O₂ e acréscimo na concentração de etileno endógeno, além da intensificação da respiração, o que caracteriza o fruto como climatérico (RINALDI *et al.*, 2011).

A classificação do fruto como climatérico, com regulação da atividade respiratória principalmente pelo etileno, permite que a colheita seja precoce, com frutos ainda na coloração verde, mas fisiologicamente maduros, conhecidos como *mature green*, com finalização da maturação induzida artificialmente pelo próprio etileno. Essa prática amplia o tempo de transporte e comercialização (MOURA *et al.*, 2005; ITO *et al.*, 2021).

No entanto, frutos colhidos no estágio *breaker*, quando surgem manchas amareladas ou avermelhadas próximas à cicatriz estilar, apresentam sabor inferior aos colhidos em plena maturação. Assim, embora a antecipação da colheita aumente a vida de prateleira, compromete a qualidade final (KADER *et al.*, 1978; MOURA *et al.*, 2005). Essa limitação reforça a importância do melhoramento genético para obtenção de híbridos “longa vida”, capazes de retardar o amadurecimento e permitir colheita em estágios mais avançados, preservando sabor, textura e valor nutricional.

Os alelos mutantes *rin* (*ripening inhibitor*), *nor* (*non ripening*) e *nor^A* (*Alcobaça*), exercem efeitos pleiotrópicos sobre o amadurecimento, com redução da respiração, interceptação da biossíntese de etileno, redução na degradação da parede celular, e da produção de carotenoides, contribuindo diretamente no retardo da maturação e nas

características de sabor, aroma, firmeza e coloração dos frutos, promovendo maior vida de prateleira (CIGLIANO *et al.*, 2022; KUMAR *et al.*, 2018; LI, *et al.*, 2021; ROOHANITAZIANI *et al.*, 2022). Estudos de Tigchelaar *et al.* (1978) com mutantes *nor/nor* em homozigose, demonstraram ausência de climatério respiratório, amolecimento lento dos frutos e baixa atividade da enzima poligalacturonase nos frutos maduros.

O mutante *rin* em homozigose apresentou frutos que não amadurecem quando colhidos no início do processo de amadurecimento, portanto, de padrão não climatérico (TIGCHELAAR *et al.*, 1978; LI, *et al.*, 2020). Os frutos alcobaça mostraram-se climatéricos, apresentando, no entanto, decréscimo na taxa de maturação entre os estádios esverdeado maduro e avermelhado, propiciando incremento de 5 dias de vida pós-colheita em frutos heterozigotos *alc⁺/alc*, e de 26 dias em frutos homozigotos *alc/alc*, em relação aos frutos normais *alc⁺/alc⁺* (LOBO *et al.*, 1984; MUTSCHLER *et al.*, 1992; DIAS *et al.*, 2003; OSEI *et al.*, 2019).

Neste contexto, a utilização de alelos mutantes de amadurecimento para prolongar a vida pós-colheita dos frutos tornou-se viável apenas em heterozigose, garantindo que os efeitos negativos desses *loci* não comprometam a coloração dos frutos (ANDRADE JUNIOR *et al.*, 2005).

2.4 ATRIBUTOS DE QUALIDADE DOS FRUTOS

2.4.1 Firmeza

A firmeza é um dos principais atributos de qualidade, fundamental para a conservação *in natura* e a resistência do fruto durante colheita, transporte e comercialização (AHRENS e HUBER, 1990; WANN, 1996). Essa característica pode ser influenciada tanto pelo *background* genético quanto pela presença de alelos mutantes que modulam o amadurecimento (AHRENS; HUBER, 1990; ARAÚJO *et al.*, 2002; SANTOS JUNIOR, 2003; ANDRADE JUNIOR, 2005).

Durante o amadurecimento, ocorre o aumento significativo da atividade de enzimas hidrolíticas como a poligalacturonase e pectinametilesterase, que despolimeriza e solubiliza pectinas, promovendo modificações na estruturação da parede celular, resultando na perda da integridade dos tecidos e no amolecimento dos frutos (GRIERSON, 1994).

A poligalacturonase solubiliza a pectina, causando alterações na textura dos frutos durante o amadurecimento, enquanto a pectinametilesterase catalisa processos

metabólicos que tornam as paredes celulares mais suscetíveis à ação da poligalacturonase (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2003).

A degradação das substâncias pécticas pode ser mitigada pela redução da atividade da poligalacturonase (MABBETT, 1989; STEELE *et al.*, 1997). A variação dos níveis dessas enzimas depende do genótipo e estágio de maturação dos frutos, aumentando ao longo do processo de amadurecimento (AHRENS; HUBER, 1990; CHITARRA, 1990).

O acúmulo de mRNA da poligalacturonase no citosol, ocorre em consequência do aumento na síntese de etileno, e da ativação da transcrição do gene que codifica a poligalacturonase (HOBSON; GRIERSON, 1993). Isso demonstra a regulação direta da expressão gênica dessa enzima neste processo. (DELLAPENNA *et al.*, 1987).

Uma estratégia para prolongar a vida pós-colheita dos frutos de tomate comerciais foi incorporar os alelos mutantes de amadurecimento, que influenciam no processo de firmeza: são eles *rin* (*ripening inhibitor*), *nor* (*non ripening*), e *nor^A* (*alcobaça*) (RESENDE *et al.*, 2004; FREITAS *et al.*, 1999; BARRY; GIOVANNONI, 2006; BENITES *et al.*, 2010; LI *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2021). Esses alelos retardam o amadurecimento e prolongam o período de maturidade dos frutos, quando em heterozigose. Em homozigose, por outro lado, podem interferir negativamente nas vias metabólicas, inibindo o amadurecimento adequado, reduzindo compostos aromáticos e interferindo na qualidade do aroma, sabor, e na textura (KOVÁCS *et al.*, 2009).

Com a presença dos alelos mutantes nos frutos, há redução na atividade de transcrição da poligalacturonase, evitando o acúmulo do mRNA correspondente (DELLAPENNA *et al.*, 1987; MUTSCHLER *et al.*, 1992).

O alelo *nor* foi identificado na cultivar Italian Winter em estudos na Universidade de Purdue, EUA, em 1973, enquanto o alelo *alcobaça* (*nor^A*) foi descoberto em 1967 na região de Alcobaça em Portugal, (DELLA VECCHIA; KOCH, 2000). Estudos de Araújo *et al.* (2002), demonstraram que o alelo *alcobaça* em homozigose (*nor^A/nor^A*) aumenta o tempo de prateleira dos frutos de tomate, reduzindo os teores de licopeno e betacaroteno, aumentando a relação brix/acidez e minimizando a perda de peso dos frutos, embora prejudique a coloração, tornando os frutos não comerciais.

Em heterozigose, o alelo *alcobaça* não afeta negativamente a coloração dos frutos, reduz a perda de peso e a taxa de decréscimo da firmeza, além de diminuir a atividade da poligalacturonase, independentemente do estágio de maturação do fruto. Seu efeito na coloração é afetado benéficamente quando associado aos genótipos *hp/hp* e *hp⁺/hp* ou com *og^c/og^c* (ARAÚJO *et al.* 2002; SANTOS JUNIOR, 2003).

O alelo recessivo *ripening inhibitor (rin)*, interrompe o amadurecimento normal dos frutos, mesmo na presença de etileno exógeno (MOORE *et al.*, 2002). O alelo *rin* é consequência de uma mutação no loco posicionado no cromossomo 5, e é ligado de forma associativa ao alelo *macrocalyx (mc)*, responsável pelo fenótipo cálice gigante (MOORE *et al.*, 2002). Frutos *rin* em homozigose são deficientes em licopeno e betacaroteno (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2003).

Os alelos *nor^A*, *nor* e *rin*, em heterozigose, isoladamente, retardam a perda de firmeza dos frutos. A combinação dos alelos *nor⁺/nor^A* *rin⁺/rin* reduz a atividade da enzima poligalacturanase no estágio *breaker*, e os alelos *nor* e *rin* juntos, em heterozigose (*nor⁺/nor rin⁺/rin*) também diminuem a perda da firmeza nos frutos, em relação a genótipos não portadores destes alelos (SANTOS JUNIOR, 2002; ANDRADE JUNIOR *et al.*, 2005; BENITES *et al.*, 2010).

A utilização simultânea de genes mutantes de amadurecimento e de coloração *nor^A*, *rin*, *og^c* e *hp*, em híbridos de tomateiro, resultou em maior conservação pós-colheita e manutenção da coloração dos frutos em comparação a genótipos normais, sendo *nor⁺/nor^A* *og^{c+}/og^c* e *nor⁺/nor^A* *og^{c+}/og^c* *hp⁺/hp*, as constituições genótípicas mais promissoras (CÁ *et al.*, 2006). As constituições genótípicas (*og^{c+}/og^c* *hp⁺/hp*) e (*og^{c+}/og^c* *hp⁺/hp nor^{A+}/nor^A*) contribuíram para prolongar a vida pós-colheita dos frutos (SANTOS, 2012).

2.4.2 Coloração

A cor dos frutos é um indicador de qualidade determinante na aceitação pelo consumidor (CHITARRA, 2005). O processo de maturação provoca mudanças na cor dos frutos de tomate, em que, frutos verdes com a degradação gradativa da clorofila são substituídos pela coloração avermelhada, resultante da síntese e acúmulo de pigmentos carotenoides, principalmente de licopeno (ZAMBRANO *et al.*, 1995; HOBSON; GRIERSON, 1993; LÓPEZ *et al.*, 2001). Esses fatores são intensificados com a permanência do fruto na planta. A velocidade e a intensidade da pigmentação vermelha variam de acordo com o genótipo (BARRET; ANTHON, 2001; GIOVANELLI *et al.*, 2001; LÓPEZ *et al.*, 2001).

Os alelos recessivos *hp (high pigment)* e *og^c (old gold-crimson)* são responsáveis por incrementos na coloração dos frutos. O alelo *hp*, de herança monogênica, resulta em frutos maduros *hp/hp* com coloração vermelha intensa e alto conteúdo de licopeno

e betacaroteno (ARAÚJO *et al.*, 2002). O alelo *og^c*, possui ação pleiotrópica, atribuindo cor alaranjada às pétalas e vermelho intenso à polpa dos frutos, aumentando o teor de licopeno, mas diminui betacaroteno da região locular dos frutos (THOMPSON *et al.*, 1965).

Em genótipos normais *nor⁺/nor^A* ou *rin⁺/rin*, os alelos *og^c* em homozigose ou heterozigose e *hp* em heterozigose melhoram a coloração interna dos frutos. Em *nor⁺/nor^A* o efeito positivo de *og^c* e *hp* na coloração interna é mais significativo que em genótipos *rin⁺/rin* (CÁ *et al.*, 2006).

A introgressão dos alelos mutantes *og^c* e *hp* em heterozigose, intensifica a coloração vermelha e aumenta os teores de betacaroteno e licopenos nos frutos, (FARIA *et al.*, 2006), contribuindo significativamente para a melhoria na coloração dos frutos de genótipos *nor⁺/nor^A* (FARIA, 2000; ARAÚJO *et al.*, 2002).

A coloração pode ser influenciada pelos alelos *nor^A*, *rin* e *nor*, pois, alteram a síntese de licopeno e betacaroteno nos frutos. Os mutantes *nor* e *nor^A*, e *rin* em homozigose, afetam a síntese de carotenoides, resultando em frutos com coloração alaranjada e amarelada, respectivamente, menos atrativa comercialmente. Em heterozigose, a coloração final é aceitável, (*rin⁺/rin⁺*, *nor⁺/nor⁺*) (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2003). Genótipos *nor⁺/nor^A* não apresentam interferência na coloração externa, enquanto combinações como *nor⁺/nor^A* *rin⁺/rin* e *nor⁺/nor rin⁺/rin* retardam o desenvolvimento da coloração avermelhada dos frutos (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2003).

2.5 ALELOS MUTANTES *ALCOBAÇA* (*nor^A*), *NON-RIPENING* (*nor*), *RIPENING-INHIBITOR* (*rin*) E *OLD GOLD CRIMSON* (*og^c*) NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA

Os alelos mutantes *rin* (*ripening inhibitor*), *nor* (*non ripening*), *nor^A* (*alcobaça*) e *og^c* (*old gold crimson*), interferem no processo natural de amadurecimento dos frutos de tomate, retardando a maturação e prologando a conservação dos frutos pós-colheita (ITO *et al.*, 2021; ZHU *et al.*, 2022).

Os primeiros estudos com essa abordagem foram realizados na década de 1980, gerando inúmeras controvérsias em relação ao alelismo entre os mutantes *alcobaça* e *non-ripening* (LOBO *et al.*, 1984; MUTSCHLER, 1984). Mutschler (1984) constatou que estavam ligados a uma distância de 17 cM, e não eram alélicos. Mas Lobo *et al.* (1984), concluíram que os mutantes ocupavam o mesmo loco no cromossomo 10, sendo o alelo *alcobaça* dominante sobre *nor*, sugerindo uma denominação específica de *nor^A*. Diante do

impasse, Benites (2010) realizou teste de alelismo e concluiu serem alelos no mesmo loco, propondo a utilização definitiva da simbologia *nor^A*, proposta em substituição à anteriormente utilizada *alc*.

O alelo *alcobaça (nor^A)*, em homozigose, inibe o amadurecimento normal dos frutos, causando decréscimo total da atividade enzimática da poligalacturonase, de etileno e CO₂, afetando também, o conteúdo de pigmentos e a razão licopeno/betacaroteno (MUSTCHLER, 1984; MUSTCHLER *et al.*, 1992; LOBO *et al.* 1984). Em heterozigose o alelo, demonstrou superioridade ao retardar o desenvolvimento da coloração vermelha e aumentar a firmeza dos frutos (FREITAS, 1999), sem apresentar efeitos deletérios sobre a produção total, peso médio e formato de fruto, assim como, no tamanho da cicatriz peduncular (FARIA, 2000). Estudos conduzidos por Araújo *et al.* (2002) mostraram que não houve prejuízos na coloração interna ou externa e no teor de licopeno dos frutos, mas houve reduções no teor de betacaroteno.

O alelo *nor*, mutante recessivo localizado no cromossomo 10 e ligado em repulsão a distância de 3,5 cM do alelo *uniform ripening (u)*, responsável pela inexistência de “ombro verde” nos frutos (TIGCHELAAR *et al.*, 1978). Frutos *nor/nor* homozigotos apresentam decréscimos significativos na respiração climatérica e retardo na biossíntese de etileno (MOORE *et al.*, 2002). Em relação a firmeza, *nor/nor* promove baixa atividade da enzima poligalacturonase e pectinametilesterase, em frutos maduros, retardando o amolecimento do fruto durante a maturação (NG; TIGCHELAAR, 1977).

Em heterozigose, *nor* promove amolecimento intermediário em relação aos frutos normais (KOPELIOVITCH *et al.*, 1979). Segundo Santos Junior (2003) e Faria *et al.* (2004), em relação à massa média dos frutos, o mutante *nor^A* em heterozigose não interferiu negativamente nesta característica.

O mutante recessivo *rin (ripening inhibitor)*, descrito pela primeira vez em 1968, na Universidade de Cornell por R. W. Robinson e M. L. Tomes (DELLA VECCHIA; KOCH, 2000), resulta de uma mutação em um loco no cromossomo 5, ligado ao loco gênico denominado macrocálice (*mc*), responsável por alterar o tamanho das pétalas e caracterizando o fenótipo cálice gigante (TIGCHELAAR *et al.*, 1978; GIOVANNONI *et al.*, 1995).

Tomates homozigotos para o alelo *rin* permanecem firmes e verdes por períodos prolongados devido a alteração direta nos níveis de degradação normal de clorofila, na síntese de pigmentos carotenoides, na degradação da parede celular, na respiração climatérica e na síntese de etileno climatérico (TIGCHELAAR *et al.*, 1978; LINCOLN;

FISCHER, 1988; CHUNGUI *et al.*, 1996; SANTOS JUNIOR *et al.*, 2003; BENITES, 2003). SANTOS JUNIOR (2003), evidenciou que *rin⁺/rin*, em *background* híbrido (FloraDade x Tropic), proporcionou queda na produção total de frutos. No entanto, Andrade Júnior (2003), utilizando outro *background* (FloraDadex Mospomorist), não observou déficit nessa característica.

O alelo *old gold-crimson* (*og^c*), descoberto em 1962 por Butler (WANN *et al.*, 1985), confere uma coloração vermelho intensa à polpa dos frutos de tomate. Thompson *et al.* (1965), verificou tratar-se de um alelo recessivo, que apresenta ação pleiotrópica, promovendo fenótipo alaranjado das pétalas. Frutos mutantes homozigotos *og^c/og^c*, apresentaram incremento de aproximadamente 75% no teor de licopeno em comparação aos frutos normais, embora foi observado decréscimo no conteúdo de betacaroteno na região locular dos frutos.

O *high pigment* (*hp*) é um mutante de herança monogênica, localizado no cromossomo 2 do genoma do tomateiro. Promove aumento na qualidade dos frutos, por meio da produção de elevados conteúdos de licopeno e betacaroteno em frutos *hp/hp* maduros, resultando em polpa de coloração vermelha intensa (GIOVANNONI, 2002).

Jarret *et al.* (1984), evidenciaram que em homozigose, o mutante *hp* causa redução no desenvolvimento da planta e incremento nos teores de clorofila nos tecidos – o que foi relacionado por Yen *et al.* (1997), com a regulação da resposta à luz durante o crescimento e desenvolvimento da planta. Araújo *et al.* (2002), demonstraram que essas combinações genótípicas envolvendo *hp/hp*, apresentaram redução da produtividade, e presença de “ombro verde” intenso.

Em estudos de produtividade e pós-colheita com o *background* Flora- Dade x Monspomorist, Faria (2000) concluiu que os alelos *hp* e *og^c* juntos em um mesmo genótipo em heterozigose, intensificaram a coloração vermelho dos frutos para o loco *alcobaça*. Híbridos com constituição genotípica *alc⁺/alc og^{c+}/og^c hp⁺/hp* obtiveram melhor coloração dos frutos em comparação aos híbridos *alc⁺/alc*. No que diz respeito à firmeza dos frutos, esses alelos não expressaram interferência.

Além disso, é importante mencionar, que os efeitos desses mutantes não devem ser interpretados individualmente, pois, há evidência de vários efeitos significativos promovidos pelas interações entre esses *loci*, dos alelos *nor⁴*, *og^c* e *hp*. Efeitos epistáticos tanto em heterozigose como em homozigose, representaram mais de 50% da variação genética total existente nos atributos relacionados à qualidade pós-colheita e à produção de frutos (ARAÚJO *et al.*, 2002).

Os mutantes *og^c* e *hp*, em *background* FloraDade, propiciaram vantagens significativas em relação à coloração interna e externa, e sobre os teores de licopeno e betacaroteno de frutos dos genótipos *nor⁺/nor^A*, tanto em homozigose como em heterozigose, na forma isolada ou em interação (ARAÚJO *et al.*, 2002; FARIA *et al.*, 2006). A combinação *og^{c+}/og^c hp⁺/hp* em frutos maduros *nor⁺/nor^A*, apresentou acréscimos significativos na coloração externa e no teor de licopeno (FARIA *et al.*, 2004).

Embora os efeitos dos mutantes *rin*, *nor* e *nor^A*, sejam pesquisados há muitos anos, estudos sobre a eficácia de seu uso simultâneo em um mesmo genótipo são mais recentes (SANTOS JUNIOR, 2003; BENITES, 2003).

Em avaliações dos efeitos das duplas combinações entre os *rin*, *nor* e *rin nor^A*, em heterozigose, em híbridos de *background* FloraDade x Tropic, Santos Junior (2005), concluiu que as combinações heterozigotas *nor^A/nor*, *nor^A/rin* e *nor/rin* foram mais expressivas na desaceleração de perda de firmeza em comparação a ação individual desses alelos, confirmando a potencialização dos efeitos das combinações duplas em heterozigose para o uso simultâneo desses pares alélicos na obtenção de cultivares longa-vida.

No *background* FloraDade, Benites (2010), também avaliou os efeitos das duplas combinações heterozigotas, *nor⁺/nor^A rin⁺/rin* e destacou que a combinação apresentou evolução mais lenta na diminuição da firmeza dos frutos, em relação genótipos heterozigotos para esses alelos isoladamente, sobressaindo-se em tempo (dias), de permanência dos frutos acima do limite crítico de firmeza (2.10^4 N/m²), após a colheita no estágio *breaker*.

Os frutos da combinação heterozigota *nor^A/nor*, permaneceram acima do limite crítico de firmeza por aproximadamente um mês (31,5 dias) após a colheita no estágio *breaker*, portanto, o dobro de tempo que levaram os frutos de *nor⁺/nor^A rin⁺/rin* (15,3 dias) e *nor⁺/nor rin⁺/rin* (12,5 dias) e quatro vezes o tempo gasto por genótipos mutantes simples *nor⁺/nor^A* (7,1 dias), *nor⁺/nor* (8,7 dias) e *rin⁺/rin* (8,7 dias) (BENITES, 2010). Quanto à coloração de frutos colhidos no estágio *breaker*, Benites (2010), constatou que frutos *nor^A/nor*, não atingiram uma coloração externa aceitável aos 28 dias após a colheita, ao contrário dos duplos mutantes, *nor⁺/nor^A rin⁺/rin* e *nor⁺/nor rin⁺/rin*, que obtiveram um padrão de pigmentação satisfatório. À luz do atual conhecimento sobre o alelismo de *nor* e *nor^A*, estes resultados se explicam pelo fato de que *nor/nor^A* representar de fato uma constituição homozigota para 2 alelos de mutantes de amadurecimento no mesmo loco *nor*, com efeitos semelhantes ao que se esperaria dos homozigotos *nor/nor* ou *nor^A/nor^A*. Por outro lado, os estudos de Benites (2010) também demonstraram a superioridade das duplas

combinações $nor^+/nor^4 rin^+/rin$ (15,3 dias) e $nor^+/nor rin^+/rin$ (12,5 dias) na conservação pós-colheita, relativamente a nor^+/nor^4 (7,1 dias), nor^+/nor (8,7 dias) e rin^+/rin (8,7 dias).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCSEM, Associação Brasileira do Comercio de Sementes e Mudas. **Tomaticultura: valioso segmento do agronegócio nacional**. 2019. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/releases/2420/tomaticultura-valioso-segmento-do-agronegociocional>>. Acesso em: 14 ago. 2025.

AHRENS, M. J.; HUBER, D. J. Physiology and firmness determination of ripening tomato fruit. **Physiologia Plantarum**. Copenhagen, v. 78, n. 1, p. 8-14, jan. 1990.

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. 2. ed. Lavras: UFLA, 457 p., 2013.

ANDRADE JUNIOR, V. C.; MALUF, W. R.; FARIA, M. V.; BENITES, F. R. G.; SANTOS JÚNIOR, A. M. Yield and fruit quality of tomato hybrids heterozygous for ripening and color mutant alleles. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.6, p.555-561, jun. 2005.

ARAÚJO, M. L.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. A.; OLIVEIRA, A. C. B. Intra and interlocus interactions between alcobaça (alc), crimson (ogc) and high pigment (hp) loci in tomato *Lycopersicon esculentum* Mill. **Euphytica**, Wageningen, v. 125, n. 2, p. 215-225, 2002.

BARRET, D. M.; ANTHON, G. Lycopene content of California-grow tomato varieties. **Acta Horticulturae**, Amsterdam, v. 542, p-165-199, 2001.

BARRY, C.S.; GIOVANNONI, J.J. Ripening in the tomato Green-ripe mutant is inhibited by ectopic expression of a protein that disrupts ethylene signaling. **PNAS**, v. 10, n. 20, p. 7923-7928, 2006.

BAUCHET, G.; CAUSSE, M. Genetic diversity in tomato (*Solanum lycopersicum*) and its wild relatives. In: **Genetic diversity in plants**, ÇALISKAN, M. (ed), Ed. InTech, Croácia, p. 133-163, 2012.

BENITES, F. R. G. **Estudos genético-fisiológicos dos mutantes alcobaça (alc), non-ripening (nor) e ripening-inhibitor (rin) em tomateiro**. 2003. 106p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2003.

BENITES, F. R. G.; MALUF, W. R.; PAIVA, L. V.; FARIA, M. V.; JUNIOR, V. C. A.; GONÇALVES, L. D. Allelism test between the alcobaça and non-ripening mutants in tomato plants. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, Edição Especial, p. 1669-1673, 2010.

CÁ, J. A.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. A.; NASCIMENTO, I. R.; FARIA, M. V.; LICURSI, V.; MORETTO, P. Híbridos de tomateiro longa-vida com frutos de maior intensidade de coloração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.9, p.1377-1384, set., 2006.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças – Fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA/FAEPE. 320 p. 1990.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras, UFLA. 783 p. 2005.

CHUNGUI, L.; HELIN, X.; RONGCHANG, Y.; WENGUI, Y. Physiological and biochemical characters of the *alc*, *nor* and *rin* ripening mutants in tomato and application in breeding for storage property. **Acta Horticulturae**, Amsterdam, v. 402, p. 141-150, 1996.

CIGLIANO, R. A.; AVERSANO, R.; DI MATTEO, A.; PALOMBIERI, S.; TERMOLINO, P.; ANGELINI, C.; BOSTAN, H.; CAMMARERI, M.; CONSIGLIO, F. M.; RAGIONE, F. D.; PAPARO, R.; VALKOV, V. T.; VITIELLO, A.; CARPUTO, D.; CHIUSANO, M. L.; D'ESPOSITO, M.; GRANDILLO, S.; MATARAZZO, M. R.; FRUSCIANTE, L.; D'AGOSTINO, N.; CONICELLA, C. Multi-omics data integration provides insights into the post-harvest biology of a long shelf-life tomato landrace, **Horticulture Research**, Volume 9, 2022.

DELLAPENNA, D.; KATES, D. S.; BENNETT, A. B. Polygalacturonase gene expression in Rutgers, *rin*, *nor*, and *Nr* tomato fruits. **Plant Physiology**, Baltimore, v. 85, n. 2, p. 502-507, Oct. 1987.

DELLA VECCHIA, P. T.; KOCH, P. S. Tomates longa vida: O que são, como foram desenvolvidos? **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 1, p. 3-4, março 2000.

DIAS, T. J. M.; et al. Alcobaça allele and genotypic backgrounds affect yield and fruit shelf life of tomato hybrids. **Scientia Agricola**. v. 60, n. 2, pp. 269-275, 2003.

FAO - FAOSTAT. The Food and Agriculture Organization Corporate Statistical on the United Nations. **Database Results**. Disponível em:
<<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 14 ago. 2025.

FARIA, M. V. **Produtividade e qualidade pós-colheita de frutos de híbridos de tomateiro heterozigotos nos locos alcobaça (*alc*), crimson (*og^c*) e / ou high pigment (*hp*)**. 2000. 74 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FARIA, M.V. **Emprego simultâneo dos mutantes de amadurecimento (*rin* e *norA*) e de coloração (*ogc* e *hp*) em heterozigose em genótipos de tomateiro longa-vida**. 2004. 96 p.– Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Federal de Lavras, MG.

FARIA, M. V.; MALUF, W. R.; DE RESENDE, J. T. V.; ANDRADE JUNIOR, V. C.; NASCIMENTO, I. R.; BENITES, F. R. G.; DE MENEZES, C. B.; AZEVEDO, S. M. *Rin*, *nor(A)*, *og(c)* and *hp* mutants in tomatoes with different genetic backgrounds. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.793-800, maio 2006.

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

FREITAS, J. A.; MALUF, W. R.; AZEVEDO, S. M. DE; BRAGA, R. DE S.; GOMES, L. A. A. Efeito dos alelos ALC, OGC, HP e heterose em características de produção do tomateiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 21, p. 439-446, 14 nov. 1999.

FURQUIM, M. G. D.; NASCIMENTO, A. R.; CORCIOLI, G. Aspectos gerais sobre a tomaticultura de mesa: uma revisão sistemática de literatura. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.9, p.598-610, 2021.

GIOVANELLI, G.; LACELLI, V.; PERI, C.; NOBILI, S. The antioxidante activity of tomato. II. Effects of vine and post-harvested ripening. **Acta Horticulturae**, Amsterdam, v. 542, p.211-217, 2001.

GIOVANNONI, J. J.; NOENSIE, E. N.; RUEZINSKY, D. M.; LU, X.; TRACY, S. L.; GANAL, M. W.; MARTIN, G. B.; PILLENT, K.; ALPERT, K.; TANKSLEY, S. D. Molecular genetics analysis of the ripening-inhibitor and non-ripening loci of tomato: a first step in genetic map-based cloning of fruit repening genes. **Molecular & General Genetics**, New York, v.248, n. 2, p.195-206, July 1995.

GIOVANNONI, J. J. Genetic control of fruit quality, and prospects for nutriente modification. **HortScience**, Alexandria, v. 37, n. 3, p. 9-12, June 2002.

GONÇALVES, L. S. A.; RODRIGUES, R.; SUDRÉ, C. P.; BENTO, C. S.; MOULIN, M. M.; ARAÚJO, M. L.; DAHER, R. F.; PEREIRA, T. N. S.; PEREIRA, M. G. Divergência genética em tomate estimada por marcadores RAPD em comparação com descritores multicategóricos. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 3, p. 364-370, 2008.

GRIERSON, D.; FRAY, R. Control of ripening in transgenic tomatoes. **Plant Molecular Biology**, v.79, p. 251-263, 1994.

HEFFERON, K. L. Can Biofortified Crops Help Attain Food Security? **Current Molecular Biology Reports**, v. 2, n. 4, p. 180–185, 2016. <https://doi.org/10.1007/s40610-016-0048-0>.

HOBSON G. E.; GRIERSON, D. Tomato. In: SEYMOUR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A. (Ed.). **Biochemistry of fruit ripening**. Londres: Chapman & Hall,1993. p. 405-442.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola: estatística da produção agrícola – janeiro 2025**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

ITO, Y.; NAKAMURA, N.; KOTAKE-NARA, E. Semi-dominant effects of a novel ripening inhibitor (rin) locus allele on tomato fruit ripening. **Plos one**, 16 (4): e0249575, 2021.

JARRET, R. L.; SAYAMA, H.; TIGCHELAAR, E. C. Pleiotropic effects associated with the chlorophyll intensifier mutations high pigment and dark green is tomato. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 109, n. 6, p. 873-878, nov., 1984.

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**, Alexandria, v. 103, n. 1, p. 6-23, jan., 1978.

KOPELIOVITCH, E.; RABINOWITCH, H. D.; MIZRAHI, Y.; KEDAR, N. The potencial of ripening mutants for extending the storage life of the tomato fruit. **Euphytica**, Wageningen, v. 28, n. 1, p. 99-104, Feb. 1979.

KOVÁCS, K.; FRAY, R. G.; TIKUNOV, Y.; GRAHAM, N.; BRADLEY, G.; SEYMOUR, G. B.; BOVY, A. G.; GRIERSON, D. Effect of tomato pleiotropic ripening mutations on flavour volatile biosynthesis. **Phytochemistry**, v. 70, n. 8, p.1003-1008, 2009.

KUMAR, R.; TAMBOLI, V.; SHARMA, R.; SREELAKSHMI, Y. NAC-NOR mutations in tomato Penjar accessions attenuate multiple metabolic processes and prolong the fruit shelf life, **Food Chemistry**, Volume 259, Pages 234-244, 2018.

LI, S.; ZHU, B.; PIRRELLO, J.; XU, C.; ZHANG, B.; BOUZAYEN, M.; CHEN, K.; GRIERSON, D. Roles of RIN and ethylene in tomato fruit ripening and ripening-associated traits. **New Phytol**, 226: 460-475, 2020.

LI, S.; CHEN, K.; GRIERSON, D. Molecular and Hormonal Mechanisms Regulating Fleshy Fruit Ripening. **Cells**. 10 (5), 1136, 2021.

LINCOLN, J.; FISCHER, R. Regulation of expression by ethylene in wild-type and rin tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruit. **Plant Physiology**, Rockville, v. 88, p. 370-374, 1988.

LOBO, M.; BASSET, M. J.; HANNAH, L. C. Inheritance and characterization of the fruit ripening mutation in ‘alcobaça’ tomato. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 109, n. 5, p. 741-745, Sept. 1984.

LÓPEZ, J.; RUIZ, R. B.; BALLESTEROS, R.; CIRUELOS, A.; ORTIZ, R. Color and lycopene content of several commercial tomato varieties at different harvesting dates. **Acta Horticulturae**, Amsterdam, v. 542, p.243-245, 2001.

MABBETT, T. H. Control of texture in tomatoes nears reality. **Agriculture International**, London, v. 41, n. 7, p. 239-240, July 1989.

MAGAÑA, E. C.; POZOS, H. A.; ARREOLA J. A.; DEL-CASTILLO, F.S.; PÉREZ, E. C. M. Caracterización morfológica de la diferenciación floral en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Revista Chapingo, **Serie Horticultura**, v. 19, n. 4, p. 59–70, 2013.
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.02.010>.

MALUF, W. R.; MACIEL, G. M.; GOMES, L. A. A.; CARDOSO, M. G.; GONÇALVES, L. D.; SILVA, E. C.; KNAPP, M. Broad-spectrum arthropod resistance in hybrids between high- and low-acylsugar tomato lines. **Crop Science Society of Americ**, v. 50, n. 2, p.439-450, 2010.

MIRONDO, R.; BARRINGER, S. Improvement of Flavor and Viscosity in Hot and Cold Break Tomato Juice and Sauce by Peel Removal. **Journal of Food Science**, v. 80, n. 1, p. 171-179, 2015.

MOORE, S.; VREBALOV, J.; PAYTON, P.; GIOVANNONI, J. Use of genomics tools to isolate key ripening genes and analyse fruit maturation in tomato. **Journal of experimental**

Botany, Oxford, v. 53, n. 377, p. 2023-2030, Oct. 2002.

MUTSCHLER, M. A. Inheritance and linkage of the 'alcobaca' ripening mutante tomato. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 109, n. 4, p. 500503, July 1984.

MUTSCHLER, M. A.; WOLFE, D. W.; COBB, E. D.; YOURSTONE, K. S. Tomato fruit quality and shelf life in hybrids heterozygous for the alc ripening mutant. **HortScience**, Alexandria, v.27, n.4, p.352-355, Apr. 1992.

MOURA, M. L.; FINGER, F. L.; MIZOBUTSI, G. P.; GALVÃO, H. L., Fisiologia do amadurecimento na planta do tomate 'Santa Clara' e do mutante 'Firme' **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p.81-85, jan/mar. 2005.

NATALINI, A.; ACCIRRI, N.; CARDI, T. Breeding for Nutritional and Organoleptic Quality in Vegetable Crops: The Case of Tomato and Cauliflowe. **Agriculture**, 11, 606, 2021.

NG, T. J.; TIGHELLAAR, E. C. Action of the non-ripening (nor) mutant on fruit ripening of tomato. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Mount, v. 102, n. 4, p. 504-509, July 1977.

OSEI, M. K.; DANQUAH, E.; DANQUAH, A; MASSOUDI, M.; MAXWELL, D.; ADU-DAPAAH, H.; BLAY, E. Validation of SNP marker linked to alc gene for long shelf life of tomato. **Journal of Crop Improvement**, 33:5, 669-682, 2019.

PAULA, J.; T. et al. Características físico-químicas e compostos bioativos em frutos de tomateiro colhidos em diferentes estádios de maturação. **Horticultura Brasileira**. v. 33, n. 4, pp. 434-440, 2015.

PERALTA, I. E.; KNAPP, S.; SPOONER, D.M. Nomenclature for wild and cultivated tomatoes. **Tomato Genet. Coop. Rep**, v. 56, 2006.

RESENDE, J. M. et al. Atividade de enzimas pectinametilesterase e poligalacturonase durante o amadurecimento de tomates do grupo multilocular. **Horticultura Brasileira**. v. 22, n. 2, pp. 206-212, 2004.

RINALDI, M. M.; SANDRI, D.; OLIVEIRA, B. N.; SALES, R. N.; AMARAL, R. D. A. Avaliação da vida útil e de embalagens para tomate de mesa em diferentes condições de armazenamento. **B. CEPPA**, Curitiba, v.29, n.2, p.305-316, jul./dez. 2011.

ROOHANITAZIANI, R.; LAMMERS, M.; MOLTHOFF, J.; TIKUNOV, Y.; DEKENS, M. F.; VISSER, R. G. F.; VAN ARKEL, J.; FINKERS, R.; MAAGD, A. D. R.; BOVY, R.G. Phenotyping of a diverse tomato collection for postharvest shelf-life, **Postharvest Biology and Technology**, Volume 188, 111908, 2022.

SAAVEDRA, T. M.; FIGUEROA, G. A.; CAUIH, J. G. D. Origin and evolution of tomato production *Lycopersicon esculentum* in México. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.47, n.3, 2017.

SALAZAR, L. F. B. **Caracterização de determinantes genéticos envolvidos na qualidade industrial e nutricional do fruto de tomate**. 2011. 222 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SANTOS JUNIOR, A. M.; MALUF, W. R.; FARIA, M. V.; LIMA, L. C. O.; CAMPOS, K. P.; LIMA, H. C.; ARAÚJO, F. M. M. C. Comportamento pós-colheita das características químicas, bioquímicas e físicas de frutos de tomateiros heterozigotos nos locos alcobaça e ripening inhibitor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.4,p.749-757, jul./ago, 2003.

SANTOS JUNIOR, A. M.; MALUF, W. R.; FARIA, M. V.; ANDRADE JUNIOR, V. C.; NASCIMENTO, I. R.; BENITES, F. R. G.; GOMES, L. A. A. Yield, quality and conservation of heterozygous tomatoes in alcobaça, nonripening and ripening inhibitor loci. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.12, p.1203-1210, dez. 2005.

SANTOS, D. C. **Produção e qualidade de frutos de híbridos de tomateiro quanto à coloração e conservação pós-colheita**. 2012. 99 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2012.

STEELE, N. A.; McCANN, M. C.; ROBERTS, K. Pectin modification in cell walls of ripening tomatoes occurs in distinct domains. **Plant Physiology**, Washington, v. 114, n. 1, p. 373-381, May 1997.

THOMPSON, A. E.; TOMES, M. L.; WANN, E. V.; McCOLLU, J. P.; STONER, A.K. Characterization of crimson tomato fruit color. **Proceeding American Society for Horticultural Science**, College Park, v.86, n.1, p.610-616, July 1965.

TIGCHELAAR, E. C.; McGLASSON, W. B.; BUESCHER, R. W. Genetic regulation of tomato fruit ripening. **HortScience**, Alexandria, v. 13, n. 5, p. 508-513, Oct. 1978.

TREICHEL, M.; CARVALHO, C.; FILTER, C.F.; BELING, R.R. **Anuário Brasileiro do Tomate**. Editora Gazeta, Cruz, Santa do Sul. 84 p. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents>>. Acesso em: 15 ago. 2025.

WANN, E. V.; JOURDAIN, E. L.; PRESSEY, R.; LYON, B. G. Effect of mutant genotypes hp ogc and dg ogc on tomato fruit quality. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 110, n. 2, p. 212-215, Mar., 1985.

WANN, E. V. Physical characteristics of mature green and ripe tomato fruit tissue of normal and firm genotypes. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 121, n. 3, p. 380-383, May., 1996.

YEN, H. C.; SHELTON, B. A.; HOWARD, L. R.; LEE, S.; VREBALOV, J.; GIOVANNONI, J. J. The tomato high-pigment (hp) locus maps to chromosome 2 and influences plastome copy number and fruit quality. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 95, p. 1069-1079, 1997.

ZAMBRANO, J.; MOYEJA, J.; PACHECO, L. Efecto del estado de madurez en la composición y calidad de frutos de tomate. **Agroñomia Tropical**, Maracay, v. 46, n. 1, p. 61-72, 1995.

ZANIN, D. S.; RESENDE, J. T.; ZEIST, A. R.; OLIVEIRA, J. R.; HENSCHER, J. M.; LIMA FILHO, R. B. Selection of processing tomato genotypes resistant to two spotted spider mite. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 271-275, 2018.

ZHU, F.; JADHAV, S. S.; TOHGE, T.; SALEM, A. M.; LEE, M. J.; GIOVANNONI, J. J.; CHENG, Y.; ALSEEKH, S.; FERNIE, A. R. A comparative transcriptomics and eQTL approach identifies SIWD40 as a tomato fruit ripening regulator. **Plant Physiology**, Volume 190, Issue 1, Pages 250–266, 2022.

3 ARTIGO A – QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE HÍBRIDOS DE TOMATEIRO PORTADORES DE ALELOS MUTANTES DE AMADURECIMENTO

3.1 RESUMO

O tomateiro é uma das hortaliças mais cultivadas mundialmente para consumo *in natura* e processamento, porém sua elevada perecibilidade compromete a qualidade e a vida útil pós-colheita. Alelos mutantes de amadurecimento, como *ripening inhibitor (rin)* e *alcobaça (nor^A)*, têm sido utilizados para retardar a maturação, enquanto alelos intensificadores de coloração, como *old gold-crimson (og^c)*, podem compensar possíveis reduções pigmentárias associadas a esses mutantes. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de híbridos experimentais combinando alelos de amadurecimento e coloração quanto à qualidade e conservação pós-colheita. Foram avaliados 15 híbridos oriundos dos programas de melhoramento da UEL e UFPA, além do híbrido comercial Pietra, em delineamento de blocos casualizados completos com quatro repetições. Avaliaram-se atributos físico-químicos e produtivos, incluindo firmeza, coloração interna e externa, sólidos solúveis, espessura do mesocarpo, cicatriz peduncular e rendimento. Os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Hartley, seguidos de ANOVA e teste de Duncan ($p \leq 0,05$), ou Kruskal-Wallis quando necessário. Contrastes não ortogonais foram estimados via Emmeans, e a análise multivariada explorada por PCA. Os resultados indicaram que *og^c/og^c* foi determinante para maior intensificação da coloração, enquanto combinações envolvendo *+rin* e *+nor^A* associadas a *og^c/og^c* apresentaram desempenho equilibrado para firmeza, cor e produtividade. A constituição *+rin +nor^A og^c/og^c* destacou-se como a mais promissora, evidenciando que a interação epistática entre alelos regulatórios e metabólicos pode gerar híbridos com qualidade superior e desempenho agrônômico estável.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L.; Melhoramento genético de tomate; Mutantes *rin*, *nor^A* e *og^c*; Qualidade físico-química pós-colheita; Extra longa vida.

3.2 ABSTRACT

Tomato is one of the most widely cultivated vegetable crops worldwide for fresh consumption and industrial processing; however, its high perishability compromises quality and postharvest shelf life. Ripening mutant alleles such as *ripening inhibitor* (*rin*) and *alcobaça* (*nor^A*) have been used to delay fruit maturation, while color-enhancing alleles such as *old gold-crimson* (*og^c*) may compensate for potential reductions in pigmentation associated with these mutants. The objective of this study was to evaluate the performance of experimental hybrids combining ripening and color-related alleles in terms of quality attributes and postharvest conservation. Fifteen hybrids developed within the breeding programs of UEL and UFLA, along with the commercial hybrid Pietra, were evaluated in a randomized complete block design with four replications. Physicochemical and yield-related traits were assessed, including firmness, internal and external color, soluble solids content, mesocarp thickness, peduncle scar, and yield components. Data were subjected to Shapiro–Wilk and Hartley tests, followed by ANOVA and Duncan’s test ($p \leq 0.05$), or Kruskal–Wallis when assumptions were not met. Non-orthogonal contrasts were estimated using Emmeans, and multivariate structure was explored by principal component analysis (PCA). Results indicated that *og^c/og^c* was decisive for enhanced color intensity, whereas combinations involving *+rin* and *+nor^A* associated with *og^c/og^c* exhibited balanced performance for firmness, color, and productivity. The genotype *+rin +nor^A og^c/og^c* emerged as the most promising, demonstrating that epistatic interactions between regulatory and metabolic alleles can generate hybrids with superior quality and stable agronomic performance.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L.; Genetic improvement of tomatoes; *rin*, *nor^A*, and *og^c* mutants; Postharvest physicochemical quality; Extended shelf life.

3.3 INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das hortaliças de maior importância econômica e nutricional no mundo, sendo cultivado tanto para consumo *in natura* quanto para processamento industrial. A qualidade dos frutos, particularmente aspectos relacionados à firmeza, coloração e vida útil pós-colheita, são atributos essenciais para atender às exigências de mercado e minimizar perdas ao longo da cadeia produtiva (KUMAR *et al.*, 2018).

A elevada perecibilidade dos frutos é um dos maiores entraves na cadeia produtiva do tomateiro. Estima-se que as perdas de tomate, desde a colheita até o consumo final, alcancem aproximadamente 21% (RINALDI *et al.*, 2011). No contexto brasileiro, o impacto econômico dessas perdas pós-colheita é expressivo, chegando a cerca de 600 milhões de reais anuais para o comércio varejista (COSTA NETA *et al.*, 2020). Entre os principais fatores responsáveis, destacam-se as condições de transporte, armazenamento e logística, bem como aspectos climáticos e características genéticas das cultivares (BENITES *et al.*, 2010; RINALDI *et al.*, 2011; CASALS *et al.*, 2021).

O avanço na compreensão genética e molecular tem permitido avanços significativos na elucidação dos mecanismos que regulam o amadurecimento do fruto. O processo de amadurecimento é um fenômeno altamente complexo, regulado por uma ampla rede de genes que modulam alterações estruturais e bioquímicas, incluindo o amolecimento progressivo ou a lignificação das camadas do pericarpo, a biossíntese e o acúmulo de açúcares, ácidos orgânicos e pigmentos, bem como a produção e liberação de metabólitos voláteis (OSORIO; SCOSSA; FERNIE, 2013).

Neste contexto, mutações naturais em *loci* específicos como *ripening inhibitor (rin)*, *non-ripening (nor)*, *alcobaça (nor^A)*, *old gold crimson (og^c)* e *high pigment (hp)* têm sido identificadas e exploradas para modular esse processo (DELLA VECCHIA; KOCH, 2000; MOORE *et al.*, 2002; NATALINI *et al.*, 2021; ROOHANITAZIANI *et al.*, 2022). Esses genes exercem papéis fundamentais na regulação da biossíntese do etileno, na degradação da parede celular e no acúmulo de pigmentos carotenoides, elementos-chave para maturação e qualidade do fruto (GIOVANNONI *et al.*, 2017; KUMAR *et al.*, 2018).

O mutante *rin* tem sido amplamente estudado por sua capacidade de bloquear parcialmente a cascata de amadurecimento, resultando em frutos cuja progressão da coloração ocorre de forma mais lenta, maior firmeza e alterações no padrão respiratório, características que favorecem a conservação pós-colheita (ITO *et al.*, 2021; ZHU *et al.*, 2022). A função do

alelo *nor*, pertencente à família NAC, foi melhor caracterizada por meio de um estudo integrativo de transcriptoma, proteoma e metabolômica em mutantes *rin* e *nor*, o qual aprimorou a compreensão da regulação mediada pelo etileno na expressão gênica, destacando a atuação conjunta desses alelos na modulação da cascata de amadurecimento (OSORIO; SCOSSA; FERNIE, 2013).

De maneira semelhante, o alelo *nor^A*, variante do gene *NOR*, promove o retardamento do amadurecimento, impactando significativamente a manutenção da firmeza e o atraso na síntese de pigmentos (KOPELIOVITCH *et al.*, 1979; ARAÚJO *et al.*, 2002). Por outro lado, o mutante *og^c* contribui para o aumento do acúmulo de licopeno, apresentando níveis até 75% superiores aos de frutos não mutantes, o que intensifica a coloração e compensa, parcialmente, a redução pigmentária observada em mutantes de amadurecimento. (THOMPSON *et al.*, 1965; THOMPSON *et al.*, 1967).

De acordo com Poma *et al.* (2017), frutos de tomateiro portadores dos alelos *rin* (*ripening inhibitor*), *nor* (*non ripening*) e *nor^A* (*Alcobaça*) apresentam maior longevidade pós-colheita, embora essa característica esteja associada a alterações indesejáveis na coloração. Em condição homozigótica, esses alelos afetam a síntese de licopeno e betacaroteno, resultando em frutos *nor* e *nor^A* com coloração amarelo-alaranjada, enquanto aqueles que possuem o alelo *rin* adquirem tonalidade amarelada (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2005; ITO *et al.*, 2021).

Estudos indicam que a expressão fenotípica desses *loci* é modulada pelo *background* genético no qual se encontram. A introgressão de alelos associados a biossíntese de carotenoides, como *old gold crimson* (*og^c*) e *high pigment* (*hp*) pode atenuar os efeitos indesejáveis dos alelos mutantes de amadurecimento sobre a coloração dos frutos, com interações gênicas e efeitos compensatórios (FARIA *et al.*, 2006; CÁ *et al.*, 2006; ARAÚJO *et al.*, 2002).

Combinações específicas, como *rin* + *og^c* e *nor^A* + *hp*, têm demonstrado potencial promissor para conciliar firmeza prolongada com coloração adequada e elevado valor nutricional dos frutos (POMA *et al.*, 2017; FARIA *et al.*, 2006).

Diante desse contexto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar os efeitos isolados e combinados dos mutantes *rin*, *nor^A* e *og^c* em híbridos de tomateiro com diferentes *backgrounds* genotípicos, visando compreender seu potencial na obtenção de frutos com qualidade superior e maior conservação pós-colheita.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Local do Ensaio

A pesquisa foi desenvolvida na Fazenda Escola, FAZESC, da Universidade Estadual de Londrina, UEL, Londrina, Paraná. A área experimental está situada sob as coordenadas 23°22'16" de latitude Sul, 51°10'00" de longitude Oeste e altitude de 590 m. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa subtropical úmido, com chuvas em todas as estações, e com verão quente. As temperaturas são superiores a 22 °C no verão e com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco. O solo da região é classificado como latossolo vermelho eutroférico (EMBRAPA, 2018).

As avaliações das características de qualidade pós-colheita dos frutos e produção, bem como, sua manutenção em câmara climatizada foi realizada no Laboratório de Pesquisas em Hortaliças (LABHOR), localizado nas dependências do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Estadual de Londrina, UEL.

3.4.2 Material Experimental

Foram utilizados 15 híbridos de tomateiros obtidos de seleções anteriores do programa de melhoramento genético da Universidade Estadual de Londrina, UEL, e da Universidade Federal de Lavras, UFLA (DINIZ, 2024) (Tabela 1).

Para a obtenção das diferentes combinações alélicas desejadas nos locos *rin*, *nor^A* e *og^c* foram utilizados diferentes genitores. Como parentais masculinos foram utilizados genótipos pertencentes ao banco de germoplasma do programa de melhoramento genético de tomateiro da Universidade Federal de Lavras, UFLA com diferentes constituições genótípicas, e como genitor feminino foram utilizadas as linhagens comerciais TOM-615 homozigota *crimson* e TOM-810 normal, com *background* para tomate do tipo salada (Tabela 1).

Foram avaliados 16 híbridos no total, sendo 15 os híbridos experimentais, com *background* anteriormente descritos, e o híbrido comercial longa vida Pietra, da Sakata (Tabela 1), utilizado como testemunha.

Tabela 1. Híbridos de tomateiro e suas constituições genotípicas.

No.Trat	Genótipos	Hábito de crescimento	<i>og^c/og^c</i>	<i>+ / og^c</i>	<i>+ / nor^A</i>	<i>+ / rin</i>
			<i>crimson</i>	<i>crimson</i>	<i>alcobaça</i>	<i>non-ripening</i>
T01	Pietra	indeterminado	-	-	-	<i>sim</i>
T02	TOM 810 x BPX-477D-26-02-14-05	indeterminado	-	-	-	-
T03	TOM 810 x BPX-477D-26-02-04-10	indeterminado	-	<i>sim</i>	-	-
T04	TOM 810 x BPX-477D-40-14-08-08	indeterminado	-	-	<i>sim</i>	-
T05	TOM 810 x BPX-477D-25-01-08-01	indeterminado	-	-	-	<i>sim</i>
T06	TOM 810 x BPX-477D-25-09-03-06	indeterminado	-	<i>sim</i>	<i>sim</i>	-
T07	TOM 810 x BPX-477D-25-16-11-14	indeterminado	-	<i>sim</i>	-	<i>sim</i>
T08	TOM 810 x BPX-477D-25-27-15-09	indeterminado	-	<i>sim</i>	<i>sim</i>	<i>sim</i>
T09	TOM 615 x BPX-477D-26-02-14-05	indeterminado	-	<i>sim</i>	-	-
T10	TOM 615 x BPX-477D-26-02-04-10	indeterminado	<i>sim</i>	-	-	-
T11	TOM 615 x BPX-477D-40-14-08-08	indeterminado	-	<i>sim</i>	<i>sim</i>	-
T12	TOM 615 x BPX-477D-25-01-08-01	indeterminado	-	<i>sim</i>	-	<i>sim</i>
T13	TOM 615 x BPX-477D-25-09-03-06	indeterminado	<i>sim</i>	-	<i>sim</i>	-
T14	TOM 615 x BPX-477D-25-16-11-14	indeterminado	<i>sim</i>	-	-	<i>sim</i>
T15	TOM 615 x BPX-477D-25-05-04-02	indeterminado	-	<i>sim</i>	<i>sim</i>	<i>sim</i>
T16	TOM 615 x BPX-477D-25-27-15-09	indeterminado	<i>sim</i>	-	<i>sim</i>	<i>sim</i>

Fonte: o próprio autor.

3.4.3 Condução Experimental e Delineamento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no sistema de cultivo em solo, utilizando quatro canteiros revestidos com filme plástico do tipo “mulching”, face prata voltada para cima e preta para baixo, com 1,20 m de largura e 50 m de comprimento, totalizando 180 m² de área útil. O preparo do solo incluiu revolvimento do solo com enxada rotativa e preparo manual dos canteiros. A adubação de base foi definida a partir de análise de solo (Anexo A), aplicando-se 800 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 500 kg ha⁻¹ do formulado 04-30-04, 30 dias antes do transplante.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados completos (DBC), com 16 tratamentos, quatro repetições e parcelas compostas por dez plantas dispostas em fileiras duplas, espaçadas 0,50 m entre plantas, 0,70 m entre fileiras e 1,0 m entre fileiras duplas. A estufa foi equipada com tela de sombreamento de 35%, tela antiafídica e sistema de tutoramento vertical, utilizando estirantes, arames e fitilho plástico, conduzindo-se as plantas com uma haste principal.

A semeadura foi realizada em 19/09/2024, em caixas de polipropileno contendo substrato comercial (Carolina Soil®) (Figura 1A). Após 15 dias, as plântulas foram repicadas para bandejas de poliestireno expandido de 128 células, visando uniformidade de mudas, e mantidas em casa de vegetação sob temperatura média de 25 °C e umidade relativa de 80%, com irrigação diária manual (Figura 1B e 1C). O transplantio foi realizado aos 30 dias após a semeadura (Figura 1D).

Figura 1. Produção de mudas de tomate. A – Semeadura em caixas de polipropileno; B – Repicagem das mudas para bandejas de poliestireno expandido; C – Manutenção das mudas em casa de vegetação; D – Transplantio das plantas.



Fonte: o próprio autor.

O sistema de irrigação adotado foi por gotejamento, com duas mangueiras por

canteiro, contendo gotejadores espaçados a cada 20 cm, posicionados junto às linhas de plantio. A fertirrigação foi realizada com nitrato de cálcio + potássio, sulfato de magnésio e fertilizante NPK (04-14-08) enriquecido com micronutrientes. O controle de plantas daninhas foi feito por capinas manuais, e o manejo fitossanitário, por pulverizações semanais com pulverizador costal elétrico (Jacto® DJB-20, capacidade de 20 L e pressão de 4,1 bar), seguindo as recomendações técnicas para a cultura (Tabela 2). Os tratos culturais incluíram amarrios e desbrota semanal, além da poda de folhas velhas para reduzir a incidência de *Tuta absoluta* e *Bemisia tabaci*.

A colheita iniciou-se em 22/01/2025, quando os primeiros frutos atingiram o estágio *breaker* (início de mudança da coloração) (Figura 2), e prosseguiu até 05/03/2025, totalizando sete colheitas ao longo do ciclo produtivo, com avaliações de produção e qualidade dos frutos.

Tabela 2. Manejo fitossanitário.

Data da aplicação	Produto comercial	Tipo	Ingrediente ativo	Grupo químico	Dose recomendada (p.c.)
02/11/2024	Benevia	Inseticida	Ciantranipole	Antranilamida (diamida)	0,5 L ha ⁻¹
05/11/2024	Completo	Fungicida	Bentiavalicarbe-isopropílico + fluazinam	Valinamida carbamato + fenilpiridinilamina	0,05 L ha ⁻¹
14/11/2024	Nativo	Fungicida	Tebuconazol + trifloxistrobina	Triazol + estrobilurina	0,75 L ha ⁻¹
22/11/2024	Matrine	Inseticida	<i>Sephora flavescens</i>	Alcalóides quinolizidínicos	1,4 L ha ⁻¹
29/11/2024	Orkestra	Fungicida	Fluxapiroxade + piraclostrobina	Pirazolcarboxamida + estrobilurina	1,0 L ha ⁻¹
05/12/2024	Totalit	Fungicida	metiram	Ditiocarbamato	175 g ha ⁻¹
21/12/2024	Completo	Fungicida	Bentiavalicarbe-isopropílico + fluazinam	Valinamida carbamato + fenilpiridinilamina	0,05 L ha ⁻¹
27/12/2024	Matrine	Inseticida	<i>Sephora flavescens</i>	Alcalóides quinolizidínicos	1,4 L ha ⁻¹
03/01/2025	Nativo	Fungicida	Tebuconazol + trifloxistrobina	Triazol + estrobilurina	0,75 L ha ⁻¹
10/01/2025	Totalit	Fungicida	metiram	Ditiocarbamato	175 g ha ⁻¹
16/01/2025	Benevia	Inseticida	Ciantranipole	Antranilamida (diamida)	0,5 L ha ⁻¹
24/01/2025	Orkestra	Fungicida	Fluxapiroxade + piraclostrobina	Pirazolcarboxamida + estrobilurina	1,0 L ha ⁻¹
30/01/2025	Totalit	Fungicida	metiram	Ditiocarbamato	175 g ha ⁻¹
07/02/2025	Matrine	Inseticida	<i>Sephora flavescens</i>	Alcalóides quinolizidínicos	1,4 L ha ⁻¹
14/02/2025	Nativo	Fungicida	Tebuconazol + trifloxistrobina	Triazol + estrobilurina	0,75 L ha ⁻¹

Data da aplicação	Produto comercial	Tipo	Ingrediente ativo	Grupo químico	Dose recomendada (p.c.)
20/02/2025	Completo	Fungicida	Bentiavalicarbe- isopropílico + fluazinam	Valinamida carbamato + fenilpiridinilamina	0,05 L ha ⁻¹
27/02/2025	Benevia	Inseticida	Ciantranipole	Antranilamida (diamida)	0,5 L ha ⁻¹

Fonte: o próprio autor.

Figura 2. Fruto de tomate no estágio *breaker* de maturação.



Fonte: o próprio autor.

3.4.4 Variáveis Analisadas

3.4.4.1 Características de qualidade de frutos

Para as avaliações relacionadas à qualidade dos frutos, foram amostrados dez frutos de cada parcela, provenientes dos primeiros e segundos cachos, colhidos no estágio *breaker*, com uniformidade de tamanho, ausência de injúrias e defeitos. As análises iniciais, para todos os parâmetros avaliados, foram realizadas na primeira colheita e repetidas após 18 dias de armazenamento, com temperatura e umidade controladas. A conservação pós-colheita foi mensurada pela determinação da firmeza; coloração interna da polpa, placenta e columela; coloração externa em quatro pontos distintos na região equatorial dos frutos; cicatriz peduncular, espessura de mesocarpo e sólidos solúveis, expresso em graus brix (°Brix).

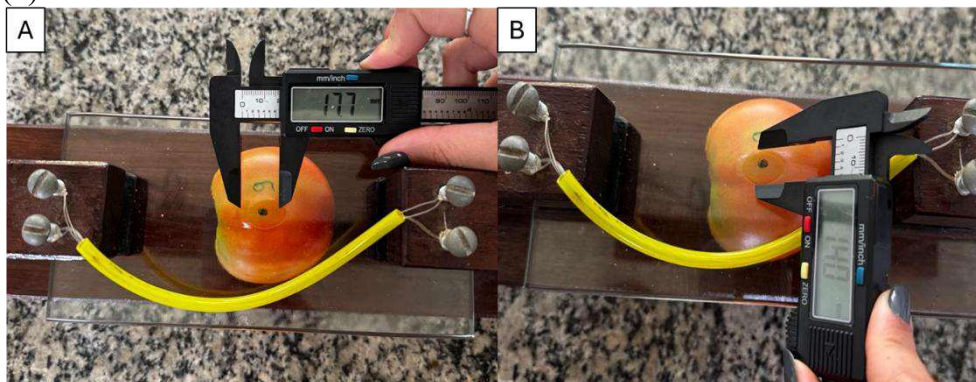
3.4.4.1.1 Firmeza dos frutos

A firmeza foi determinada pela técnica de aplanação descrita por Calbo e Nery (1995), em frutos no estágio *breaker* de maturação. As medidas de firmeza foram expressas em N.m^{-2} .

As amostras foram armazenadas a 15°C e 60% de umidade relativa, por 18 dias, sendo avaliadas a cada dois dias no mesmo ponto do fruto. As medições iniciaram no dia em que foi realizado a colheita, considerado dia 0.

A técnica consiste em utilizar o aparelho denominado aplanador centrado, que exerce uma força conhecida à superfície do fruto, com pressão de peso de (1,047 kgf), para medição da área aplanada de contato entre a placa compressora e a superfície do fruto. A pressão direta sobre o fruto promove a formação de uma superfície de contato de formato elipsoidal, delimitada por uma marca de óleo mineral, que foi adicionado no ponto demarcado no fruto nas sucessivas avaliações. Com o auxílio de um paquímetro digital, foi mensurado o maior (a) e o menor (b) diâmetro dessa área, em forma de elipsoide (Figura 3A e 3B).

Figura 3. Determinação da firmeza. A – Medida do maior diâmetro (a); B – Medida do menor diâmetro (b).



Fonte: o próprio autor.

A área aplanada foi estimada pela fórmula da área (A) de uma elipse, $A=0,7884*a*b$, em que, A= área aplanada em cm^2 ; a= diâmetro maior (cm) da área elíptica; e b= diâmetro menor (cm) da área elíptica. A firmeza dos frutos (Fz) foi calculada pela divisão do peso (P) aplicado aos frutos (1,047kgf) em quilogramas-força sobre a área aplanada (A) em cm^2 , onde $Fz= P/A$. Os resultados serão expressos em N m^{-2} , em que valores maiores indicam frutos mais firmes.

A meia-vida da firmeza (T) foi obtida pela regressão dos dados da firmeza (A), de cada parcela, no número de dias decorridos (X), através do modelo estatístico de

decaimento exponencial: $A = A_0 (1/2)^{X/T}$, em que A_0 é a firmeza inicial (N m^{-2}) dos frutos no estágio *breaker*; X é o número de dias decorridos depois da colheita no estágio *breaker*; T é a meia-vida da firmeza (dias); A é a firmeza (N m^{-2}) depois de decorridos X dias. Com base na equação ajustada do decaimento exponencial, foram determinados para cada parcela a firmeza inicial (A_0) no estágio *breaker* (N m^{-2}) e a meia vida da firmeza (T) (dias), bem como foi registrado o número de dias decorridos (X) para que os frutos atingissem a firmeza crítica $2 \times 10^4 \text{ N m}^{-2}$ (abaixo da qual os frutos não são mais considerados adequados para consumo).

3.4.4.1.2 Coloração dos frutos

A coloração dos frutos foi avaliada em frutos colhidos no estágio *breaker* (= dia 0) e ao final do período de 18 dias de armazenagem (= dia 18), com o objetivo de acompanhar a evolução da coloração durante a maturação pós-colheita. As leituras colorimétricas foram realizadas utilizando um colorímetro portátil Minolta CR-10 Plus, da Konica Minolta Sensing (Japão). O equipamento opera de acordo com os padrões da *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE), utilizando iluminante padrão D65 e observador padrão de 10° .

O instrumento foi configurado para fornecer diretamente os resultados no espaço de cor CIEL*a*b*, sendo registrados os seguintes parâmetros colorimétricos:

L^* (luminosidade): coordenada de claridade da cor, variando de 0 (preto) a 100 (branco), em que valores mais elevados indicam superfícies mais claras;

C^* (croma): expressa a saturação ou intensidade da cor, variando de 0 (pouco saturada) até aproximadamente 60 (saturação máxima);

h (ângulo de tonalidade): expresso em graus, definido a partir do eixo vermelho ($+a^*$), com progressão no sentido anti-horário, sendo 0° correspondente ao vermelho, 90° ao amarelo, 180° ao verde e 270° ao azul.

Durante o amadurecimento, frutos de tomateiro apresentam valores de h predominantemente entre 0° e 90° , sendo que valores mais próximos de 0° indicam coloração mais avermelhada, enquanto valores crescentes indicam maior predominância de tons amarelados (KONICA MINOLTA, 2014).

Para cada amostra, foram realizadas leituras externas diretamente na epiderme, em quatro pontos equatoriais distintos da superfície do fruto, de modo a garantir a representatividade da amostra. As leituras internas foram efetuadas na polpa, placenta e

columela, após o seccionamento transversal dos frutos.

3.4.4.1.3 Cicatriz peduncular

O tamanho relativo da cicatriz peduncular foi obtido por meio da determinação das medidas do maior diâmetro da cicatriz peduncular utilizando-se um paquímetro digital, expresso em milímetros (mm).

Para cada fruto, posicionou-se a ponteira do paquímetro tangenciando as bordas externas da cicatriz e registrou-se o maior diâmetro observado. As medidas foram feitas nos frutos obtidos da primeira colheita.

3.4.4.1.4 Espessura do mesocarpo

Foram realizadas duas análises de espessura do mesocarpo, nos frutos amostrados da primeira colheita e em frutos após 18 dias de armazenamento. Cada fruto foi seccionado transversalmente na região equatorial, expondo o mesocarpo, definido como o tecido compreendido entre a epiderme externa e a borda da cavidade locular. As medições foram realizadas com paquímetro digital, posicionando-se as hastes do instrumento perpendicularmente à superfície externa do fruto e à borda interna da cavidade locular. Os resultados foram expressos em milímetros (mm).

3.4.4.1.5 Teor de sólidos solúveis (SS)

O teor de sólidos solúveis (SS) foi determinado em dois momentos, a partir da primeira colheita e em frutos após 18 dias de armazenamento. Utilizou-se refratômetro digital (Milwaukee, modelo MA871), previamente calibrado com água destilada, com resultados expressos em graus Brix (°Brix). Cada fruto foi cortado transversalmente na região equatorial, e sobre o prisma do refratômetro aplicou-se a fração líquida da polpa, obtida por leve pressão manual, garantindo volume suficiente para cobrir a superfície de leitura. Entre amostras, o prisma foi higienizado com papel macio umedecido em água destilada. A leitura foi registrada somente após estabilização completa do valor.

3.4.4.2 Componentes de produção

As avaliações produtivas foram conduzidas em sete colheitas semanais, realizadas entre

22/01/2025 e 05/03/2025, iniciando-se no estágio *breaker*. Em cada colheita, os frutos foram coletados por parcela e avaliados quanto ao número total, número de frutos rachados, massa total e massa de frutos rachados, utilizando balança digital. A partir desses dados, estimou-se a produção média de frutos por planta, massa média de frutos e a produção média de frutos rachados por planta.

3.4.4.2.1 *Massa total de frutos por planta*

A massa total de frutos por planta foi determinada, pelo somatório dos pesos de todos os frutos colhidos de cada híbrido, dividido pelo número total de plantas avaliadas. Os resultados foram expressos em quilos por planta (kg/planta).

3.4.4.2.2 *Massa média dos frutos*

A massa média de frutos foi obtida pela razão entre o peso total dos frutos produzidos de cada tratamento e o respectivo número de frutos colhidos, considerando todo o período de colheita. Os resultados foram expressos em gramas por fruto (g/fruto).

3.4.4.2.3 *Produção total de frutos*

A produção total de frutos foi determinada pelo somatório do peso de todos os frutos colhidos de cada híbrido, durante o período de produção de cada planta. Os resultados foram expressos em quilos (kg).

3.4.4 *Análise Estatística*

Os dados foram submetidos à verificação dos pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk e Hartley, respectivamente. Quando atendidos os pressupostos, procedeu-se à análise de variância (ANOVA), com comparação de médias pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$), utilizando o pacote Agricolae v.1.3-7 (MENDIBURU, 2023). Quando os dados não atenderam aos pressupostos da ANOVA, aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, com comparações múltiplas pelo teste T ($p \leq 0,05$). Contrastes não ortogonais foram estimados para comparar os tratamentos e quantificar os efeitos das constituições genóticas $+nor^A$ e $+rin$, isoladas ou combinadas no mesmo genótipo, bem como suas interações com os locos $+og^c$ e og^c/og^c , utilizando o pacote Emmeans v.2.0.1 (LENTH, 2025). Todas as

análises foram conduzidas no software R (R CORE TEAM, 2025).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Características de Qualidade de Frutos

3.5.1.1 Coloração interna de frutos

A análise colorimétrica da polpa evidenciou efeito significativo das diferentes constituições genótípicas para luminosidade (L^*), croma (C^*) e ângulo de tonalidade (h°), tanto no estágio *breaker* quanto após 18 dias de armazenamento (Tabela 3). Considerando que a polpa constitui o principal sítio de diferenciação cromoplástica e acúmulo de licopeno, as variações observadas refletem diretamente a modulação genética das vias regulatórias do amadurecimento e da biossíntese de carotenoides.

As diferenças observadas entre os genótipos foram inicialmente identificadas pelo teste de médias (Tabela 3) e posteriormente detalhadas por meio de contrastes não ortogonais previamente definidos (Tabela 4), cujas estimativas estão apresentadas na Tabela 5. Nessa abordagem, os contrastes C1 a C14 comparam a cultivar comercial Pietra com os demais híbridos avaliados, enquanto os contrastes C15 a C24 comparam o genótipo normal, sem alelos mutantes de amadurecimento e coloração, com as demais constituições genótípicas.

No estágio *breaker*, a maior média de L^* foi observada no genótipo com a constituição $+/rin +/nor^A og^c/og^c$ (18.17), enquanto a menor média foi registrada no genótipo sem alelos mutantes de amadurecimento e coloração (4.69).

Após 18 dias de armazenamento, a maior média de L^* manteve-se no híbrido com a constituição $+/rin +/nor^A og^c/og^c$ (20.71), ao passo que a menor média final foi observada no híbrido og^c/og^c (4.15).

As estimativas dos contrastes confirmaram diferenças significativas entre os genótipos avaliados para ambas as avaliações de luminosidade (Tabela 5). Para L^*_1 , os contrastes C4, C8, C9 e C14 indicaram que os híbridos og^c/og^c , $+/rin +/nor^A og^c/og^c$, $+/rin +/og^c$ e $+/nor^A og^c/og^c$ apresentaram valores significativamente superiores de luminosidade em relação a cultivar Pietra. Resultados semelhantes foram observados na comparação com o genótipo sem alelos mutantes de amadurecimento e coloração, uma vez que os contrastes C15, C16, C17, C18, C19, C20, C21, C23 e C24 indicaram valores significativamente maiores de

L^*_1 para os híbridos $+/og^c$, og^c/og^c , $+/rin$, $+/rin +/nor^A +/og^c$, $+/rin +/nor^A og^c/og^c$, $+/rin +/og^c$, $+/rin og^c/og^c$, $+/nor^A +/og^c$ e $+/nor^A og^c/og^c$, corroborando o padrão observado no teste de médias (Tabelas 3 e 5).

Para L^*_2 , após 18 dias de armazenamento, os contrastes C3, C5, C7, C8, C9, C10, C11 e C13 indicaram valores significativamente maiores de luminosidade para os híbridos $+/og^c$, $+/rin$, contendo ou não alelos intensificadores de coloração (og^c), $+/rin +/nor^A +/og^c$, $+/rin +/nor^A og^c/og^c$, $+/rin +/og^c$, $+/rin og^c/og^c$, $+/nor^A$, contendo ou não alelos intensificadores de coloração (og^c), $+/nor^A +/og^c$ em comparação à cultivar Pietra. Comparações com o genótipo sem mutantes também revelaram diferenças significativas, especialmente nos contrastes C15, C18, C19, C20, C21, C22 e C23, indicando maior luminosidade da polpa nos híbridos $+/og^c$, $+/rin +/nor^A +/og^c$, $+/rin +/nor^A og^c/og^c$, $+/rin +/og^c$, $+/rin og^c/og^c$, $+/nor^A$, $+/nor^A +/og^c$ (Tabela 5).

A redução da luminosidade durante o amadurecimento está associada ao acúmulo de licopeno e à reestruturação dos plastídios, caracterizada pela conversão de cloroplastos em cromoplastos e pela deposição de cristais lipídicos de carotenoides, que diminuem a reflectância do tecido (BARRY; GIOVANNONI, 2007).

Mutações nos genes *rin* e *nor* interferem na cascata transcricional regulada por etileno, reduzindo a ativação de genes estruturais da via do licopeno, como *PSY1*, *PDS* e *ZDS* (VREBALOV et al., 2002; KUMAR et al., 2018). A manutenção de valores elevados de L^* no genótipo $+/rin +/nor^A og^c/og^c$ indica modulação do processo de diferenciação cromoplástica, sugerindo atraso controlado na biossíntese de carotenoides.

Entretanto, diferentemente do que se observa em geral para *rin* e *nor^A* isolados, frequentemente associados à coloração deficiente e aspecto interno opaco dos frutos, a presença de og^c/og^c demonstrou ter compensado parcialmente essa limitação, mantendo equilíbrio entre estabilidade luminosa e evolução cromática.

Na avaliação inicial, a maior média de C^* foi observada no híbrido $+/nor^A og^c/og^c$ (24.87), enquanto a menor média foi registrada no genótipo $+/nor^A$ (14.01).

Após o armazenamento, a maior média de C^* foi observada na constituição $+/rin +/nor^A og^c/og^c$ (29.14), enquanto a menor média final permaneceu associada ao genótipo $+/nor^A$ (18.16).

A análise dos contrastes também confirmou diferenças significativas para o croma da polpa (Tabela 5). Para C^*_1 , o contraste C14 indicou que o genótipo $+/nor^A og^c/og^c$ apresentou saturação de cor significativamente superior à da cultivar Pietra. De maneira semelhante, o contraste C24 ($+/nor^A og^c/og^c$) evidenciou maior saturação cromática desse

híbrido quando comparado ao genótipo sem alelos mutantes de amadurecimento e coloração. Para C*₂, após o armazenamento, o genótipo *+rin +nor^A og^c/og^c* promoveu aumento da saturação da coloração vermelha dos frutos em comparação a Pietra (C8) e ao genótipo normal, sem alelos mutantes de amadurecimento e coloração (C19), confirmando a maior intensidade da saturação da coloração vermelha da polpa observada no teste de médias (Tabelas 3 e 5).

O incremento de C* reflete aumento da saturação da cor vermelha e está diretamente relacionado à concentração de licopeno na polpa do tomate. O alelo *og^c*, especialmente em homozigose, está associado à alteração funcional no gene *CRTISO*, promovendo maior eficiência na isomerização de prolicopeno em licopeno e, consequentemente, maior acúmulo do pigmento (RONEN et al., 2000; LIU et al., 2015).

A literatura demonstra que mutações em *rin* e *nor^A* reduzem a amplitude transcricional da rede regulatória do amadurecimento, comprometendo a expressão coordenada de genes envolvidos na biossíntese de carotenoides e na remodelação da parede celular (OSORIO et al., 2013). Contudo, os dados obtidos indicam que a presença simultânea de *og^c/og^c* promoveu intensificação significativa da saturação de vermelho, mitigando o efeito supressivo clássico de *rin* e *nor^A* sobre a coloração.

No estágio *breaker*, a maior média de h foi observada no híbrido *+nor^A* (41.36°), enquanto a menor média foi registrada no genótipo com a constituição *og^c/og^c* (27.55°).

Após 18 dias, a maior média de h foi observada na constituição *+rin* (36.41°), enquanto a menor média final foi registrada para o híbrido *og^c/og^c* (22.73°).

A análise dos contrastes reforçou essas diferenças na evolução da coloração da polpa (Tabela 5). Para h₁, os contrastes C4 e C16 indicaram que o genótipo *og^c/og^c* apresentou valores significativamente inferiores de h₁ em relação à cultivar Pietra e ao híbrido sem alelos mutantes de amadurecimento e coloração, indicando coloração interna mais vermelha nesse genótipo.

Para h₂, após o armazenamento, observou-se comportamento semelhante. Os contrastes C4 e C16 indicaram novamente valores significativamente inferiores para o genótipo *og^c/og^c*, em comparação a Pietra e o genótipo sem alelos de amadurecimento e intensificadores de coloração. O genótipo *+rin* (C6 e C17) promoveu aumento do ângulo de tonalidade, em comparação a testemunha Pietra e ao genótipo sem mutantes, o que indica a tendência de *rin* em retardar a mudança de coloração dos frutos, relacionado ao processo de amadurecimento (Tabela 5).

A redução do ângulo de tonalidade representa a transição da tonalidade amarelo-alaranjada para vermelho intenso, associada ao aumento da razão licopeno/ β -caroteno (GIOVANNONI, 2004). Os valores elevados de h em $+nor^A$ e $+rin$ indica limitação na consolidação do vermelho pleno, possivelmente decorrente de repressão incompleta da via etileno-dependente e consequente redução da expressão de genes da rota do MEP e da biossíntese de carotenoides.

A evidência reforça que os efeitos de *rin* e *nor^A* são fortemente dependentes do contexto genético e da modulação metabólica subjacente, corroborando abordagens modernas baseadas em redes regulatórias integradas (OSORIO et al., 2013).

Tabela 3. Valores médios de luminosidade (L*), croma (C*) e ângulo de tonalidade (h), expresso em graus, da polpa dos frutos de tomate dos híbridos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2).

No. Trat	Genótipos	Constituição genotípica	L* ₁	L* ₂ ^L	C* ₁	C* ₂	h ₁ ^P (°)	h ₂ ^P (°)
T01	Pietra	<i>+/rin</i>	11.97 e	7.08 f	20.73 bcd	23.55 cdef	37.73 b	33.77 b
T02	TOM 810 x BPX-477D-26-02-14-05	<i>+/+ +/+ +/+</i>	4.69 i	6.14 g	17.91 e	20.56 ghi	38.43 ab	33.66 b
T03	TOM 810 x BPX-477D-26-02-04-10	<i>+/og^c</i>	8.83 f	7.16 f	15.21 f	22.96 def	35.50 cde	33.18 b
T04	TOM 810 x BPX-477D-40-14-08-08	<i>+ / nor^A</i>	5.17 hi	8.47 de	14.01 f	18.16 j	41.36 a	34.27 b
T05	TOM 810 x BPX-477D-25-01-08-01	<i>+/rin</i>	6.36 gh	7.5 ef	21.54 b	24.01 cde	38.16 ab	36.41 a
T06	TOM 810 x BPX-477D-25-09-03-06	<i>+/nor^A +/og^c</i>	12.36 e	15.0 b	19.16 cde	21.51 fgh	36.81 bcd	28.52 de
T07	TOM 810 x BPX-477D-25-16-11-14	<i>+/rin +/og^c</i>	15.89 bc	10.15 c	21.44 bc	25.31 bc	34.95 e	31.27 c
T08	TOM 810 x BPX-477D-25-27-15-09	<i>+/rin +/nor^A +/og^c</i>	7.11 g	8.0 ef	17.76 e	24.31 cde	32.66 fg	29.51 d
T09	TOM 615 x BPX-477D-26-02-14-05	<i>+/og^c</i>	8.71 f	14.5 b	20.23 bcd	18.55 ij	37.68 bc	32.86 bc
T10	TOM 615 x BPX-477D-26-02-04-10	<i>og^c/og^c</i>	14.11 d	4.15 h	15.52 f	26.75 b	27.55 g	22.73 i
T11	TOM 615 x BPX-477D-40-14-08-08	<i>+/nor^A +/og^c</i>	6.95 g	9.47 cd	21.00 bc	23.80 cde	28.98 g	25.3 gh
T12	TOM 615 x BPX-477D-25-01-08-01	<i>+/rin +/og^c</i>	12.99 de	15.32 b	18.57 de	22.43 efg	34.10 ef	26.83 efg
T13	TOM 615 x BPX-477D-25-09-03-06	<i>+/nor^A og^c/og^c</i>	15.49 c	7.08 f	24.87 a	28.95 a	32.40 fg	24.75 hi
T14	TOM 615 x BPX-477D-25-16-11-14	<i>+/rin og^c/og^c</i>	12.71 de	15.47 b	15.69 f	19.59 hij	37.52 b	25.55 fgh
T15	TOM 615 x BPX-477D-25-05-04-02	<i>+/rin +/nor^A +/og^c</i>	16.98 ab	20.11 a	21.26 bc	25.12 bcd	34.41 e	27.96 def
T16	TOM 615 x BPX-477D-25-27-15-09	<i>+/rin +/nor^A og^c/og^c</i>	18.17 a	20.71 a	22.45 b	29.14 a	35.40 de	27.12 efg
CV (%)			13.71	6.22	12.05	9.70		
p-value			p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Duncan a 5% (p<0,05) de significância. ^LDados transformados em log(x). ^PDados analisados por estatística não paramétrica pelo teste de Kruskal-Wallis seguido de comparações múltiplas, em que médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste T a 5% (p<0,05) de significância.

Fonte: o próprio autor.

Tabela 4. Contrastes não ortogonais entre genótipos de tomateiro com diferentes constituições genotípicas $+nor^A$ e $+rin$, isoladas ou combinadas no mesmo genótipo, bem como suas interações com os locos $+og^c$ e og^c/og^c , em dois backgrounds genéticos distintos.

Contrastes	Comparação	Efeito avaliado
C1	T1 - (T2+T3+T9+T10) /4	Pietra($+rin$) vs. híbridos sem rin e nor^A , contendo ou não alelos intensificadores de coloração (og^c)
C2	T1 - T2	Pietra($+rin$) vs. híbrido sem rin , nor^A e og^c
C3	T1 - (T3+T9) /2	Pietra($+rin$) vs. híbridos $+og^c$
C4	T1 - T10	Pietra($+rin$) vs. híbrido og^c/og^c
C5	T1 - (T5+T7+T8+T12+T14+T15+T16) /7	Pietra($+rin$) vs. híbridos $+rin$, contendo ou não alelos intensificadores de coloração (og^c)
C6	T1 - T5	Pietra($+rin$) vs. híbrido $+rin$, sem alelos intensificadores de coloração (og^c)
C7	T1 - (T8+T15) /2	Pietra($+rin$) vs. híbridos $+rin +nor^A +og^c$
C8	T1 - T16	Pietra($+rin$) vs. híbrido $+rin +nor^A og^c/og^c$
C9	T1 - (T7+T12) /2	Pietra($+rin$) vs. híbridos $+rin +og^c$
C10	T1 - T14	Pietra($+rin$) vs. híbrido $+rin og^c/og^c$
C11	T1 - (T4+T6+T11+T13) /4	Pietra($+rin$) vs. híbridos $+nor^A$, contendo ou não alelos intensificadores de coloração (og^c)
C12	T1 - T4	Pietra ($+rin$) vs. híbrido $+nor^A$, sem alelos intensificadores de coloração (og^c)
C13	T1 - (T6+T11) /2	Pietra ($+rin$) vs. híbridos $+nor^A +og^c$
C14	T1 - T13	Pietra ($+rin$) vs. híbridos $+nor^A og^c/og^c$
C15	T2 - (T3+T9) /2	Híbrido sem rin , nor^A e og^c vs. híbridos $+og^c$
C16	T2 - T10	Híbrido sem rin , nor^A e og^c vs. híbrido og^c/og^c
C17	T2 - T5	Híbrido sem rin , nor^A e og^c vs. híbrido $+rin$
C18	T2 - (T8+T15) /2	Híbrido sem rin , nor^A e og^c vs. híbridos $+rin +nor^A +og^c$
C19	T2 - T16	Híbrido sem rin , nor^A e og^c vs. híbrido $+rin +nor^A og^c/og^c$
C20	T2 - (T7+T12) /2	Híbrido sem rin , nor^A e og^c vs. híbridos $+rin +og^c$
C21	T2 - T14	Híbrido sem rin , nor^A e og^c vs. híbrido $+rin og^c/og^c$
C22	T2 - T4	Híbrido sem rin , nor^A e og^c vs. híbrido $+nor^A$
C23	T2 - (T6+T11) /2	Híbrido sem rin , nor^A e og^c vs. híbridos $+nor^A +og^c$
C24	T2 - T13	Híbrido sem rin , nor^A e og^c vs. híbrido $+nor^A og^c/og^c$

Fonte: o próprio autor.

Tabela 5. Estimativas de contrastes não ortogonais de genótipos de tomate portadores de alelos mutantes de amadurecimento e/ou coloração, em relação a luminosidade (L^*), croma (C^*) e ângulo de tonalidade (h), expresso em graus, da polpa dos frutos de tomate dos genótipos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2).

Contraste	Comparação	L^*_1	L^*_2	C^*_1	C^*_2	h_1	h_2
C1	T1 - (T2+T3+T9+T10) /4	2.885 ***	-0.9075 ns	3.5125 ***	1.345 ns	2.94 **	3.1625 ***
C2	T1 - T2	7.28 ***	0.94 ns	2.82 **	2.99 **	-0.7 ns	0.11 ns
C3	T1 - (T3+T9) /2	3.2 ***	-3.75 ***	3.01 **	2.795 **	1.14 ns	0.75 ns
C4	T1 - T10	-2.14 **	2.93 ***	5.21 ***	-3.2 **	10.18 ***	11.04 ***
C5	T1 - (T5+T7+T8+T12+T14+T15+T16) /7	-0.9171 ns	-6.8143 ***	0.9143 ns	-0.7231 ns	2.4154 **	4.5343 ***
C6	T1 - T5	5.61 ***	-0.42 ns	-0.81 ns	-0.46 ns	-0.43 ns	-2.64 *
C7	T1 - (T8+T15) /2	-0.075 ns	-6.975 ***	1.22 ns	-1.165 ns	4.195 ***	5.035 ***
C8	T1 - T16	-6.2 ***	-13.63 ***	-1.72 ns	-5.592 ***	2.328 *	6.65 ***
C9	T1 - (T7+T12) /2	-2.47 ***	-5.655 ***	0.725 ns	-0.32 ns	3.205 **	4.72 ***
C10	T1 - T14	-0.74 ns	-8.39 ***	5.04 ***	3.96 ***	0.21 ns	8.22 ***
C11	T1 - (T4+T6+T11+T13) /4	1.9775 ***	-2.925 ***	0.97 ns	0.445 ns	2.8425 **	5.56 ***
C12	T1 - T4	6.8 ***	-1.39 ns	6.72 ***	5.39 ***	-3.63 **	-0.5 ns
C13	T1 - (T6+T11) /2	2.315 ***	-5.155 ***	0.65 ns	0.895 ns	4.835 ***	6.86 ***
C14	T1 - T13	-3.52 ***	0.0 ns	-4.14 ***	-5.4 ***	5.33 ***	9.02 ***
C15	T2 - (T3+T9) /2	-4.08 ***	-4.69 ***	0.19 ns	-0.195 ns	1.84 ns	0.64 ns
C16	T2 - T10	-9.42 ***	1.99 **	2.39 *	-6.19 ***	10.88 ***	10.93 ***
C17	T2 - T5	-1.67 *	-1.36 ns	-3.63 ***	-3.45 **	0.27 ns	-2.75 *
C18	T2 - (T8+T15) /2	-7.355 ***	-7.915 ***	-1.6 ns	-4.155 ***	4.895 ***	4.925 ***
C19	T2 - T16	-13.48 ***	-14.57 ***	-4.54 ***	-8.582 ***	3.028 *	6.54 ***
C20	T2 - (T7+T12) /2	-9.75 ***	-6.595 ***	-2.095 *	-3.31 ***	3.905 ***	4.61 ***
C21	T2 - T14	-8.02 ***	-9.33 ***	2.22 *	0.97 ns	0.91 ns	8.11 ***
C22	T2 - T4	-0.48 ns	-2.33 **	3.9 ***	2.4 *	-2.93 *	-0.61 ns
C23	T2 - (T6+T11) /2	-4.965 ***	-6.095 ***	-2.17 *	-2.095 *	5.535 ***	6.75 ***
C24	T2 - T13	-10.8 ***	-0.94 ns	-6.96 ***	-8.39 ***	6.03 ***	8.91 ***

^{ns}Não significativo. *, **, *** Significativo a 5%, 1% e 0,1%, respectivamente, pelo teste F.

A placenta constitui um tecido interno metabolicamente ativo e funcionalmente distinto do pericarpo, caracterizado por intensa atividade de transporte, sinalização e interação com o desenvolvimento das sementes, além de apresentar gradientes próprios de maturação e remodelação plastidial (SHINOZAKI et al., 2018; GIOVANNONI, 2004). Nesse contexto, a evolução de L^* , C^* e h na placenta durante a pós-colheita pode ser considerada um indicador indireto da progressão interna da rede regulatória do amadurecimento e do metabolismo de carotenoides, particularmente sob a influência de alelos que modulam esse processo, como *rin*, *nor^A* e *og^c* (LI et al., 2020; OSORIO et al., 2013).

Para a análise colorimétrica da placenta dos frutos de tomate, foram observadas diferenças entre os genótipos avaliados (Tabela 6).

Na colheita (estádio *breaker*), a maior luminosidade na placenta ocorreu em *og^c/og^c* (13.51), enquanto o menor valor foi observado em *+rin og^c/og^c* (3.12). Após 18 dias, o maior valor foi registrado em *+nor^A* (21.74), que não diferiu estatisticamente de *+nor^A og^c/og^c* (21.73), ao passo que o menor valor final ocorreu em *+rin +og^c* (13.18).

As estimativas dos contrastes confirmaram diferenças significativas entre os genótipos avaliados (Tabela 7). Para L^*_1 , Pietra demonstrou diferença positiva para elevada luminosidade na placenta dos frutos em relação aos genótipos portadores das combinações alélicas envolvendo os alelos *rin*, *nor^A* e *og^c*, isolados ou em associação, com *og^c* em homozigose ou heterozigose, exceto pelo genótipo *og^c/og^c* (C4). Em comparação ao genótipo sem mutantes, a constituição *+rin og^c/og^c* apresentou luminosidade significativamente inferior (C21). As demais combinações entre os alelos mutantes de amadurecimento e intensificação de coloração demonstraram efeito significativo e superior ao genótipo sem mutantes (C15, C16, C17, C18, C19, C20, C23 e C24).

Para L^*_2 , após o período de armazenamento, os contrastes C7, C12 e C14 (*+rin +nor^A +og^c*, *+nor^A*, *+nor^A og^c/og^c*) indicaram diferenças significativas e superiores em relação à cultivar Pietra, enquanto comparações com o genótipo normal evidenciaram valores significativamente maiores de luminosidade para os genótipos com as combinações alélicas de mutantes de amadurecimento e coloração nos contrastes C15, C16, C17, C18, C19, C21, C22 e C24 (Tabela 7).

Fisiologicamente, a redução de L^* ao longo do amadurecimento está associada ao acúmulo de carotenoides e à reorganização estrutural dos cromoplastos, que altera a reflectância do tecido (BARRY; GIOVANNONI, 2007). Contudo, em tecidos internos como a placenta, esse comportamento pode não ser linear, uma vez que a reflectância também

depende de fatores estruturais, como translucidez, teor de água, composição da matriz celular e distribuição espacial de plastídios (SHINOZAKI et al., 2018). Assim, valores mais elevados de L^* após armazenamento não necessariamente indicam menor pigmentação, mas podem refletir alterações na microestrutura celular e no particionamento intracelular de carotenoides.

Do ponto de vista regulatório, os alelos *rin* e *nor^A* atuam sobre a cascata transcricional do amadurecimento, modulando a sinalização dependente de etileno e a expressão de genes estruturais da via de carotenoides (VREBALOV et al., 2002; LI et al., 2020). Estudos recentes demonstram que mutações espontâneas em *rin* e *nor* podem apresentar efeitos aditivos ou epistáticos, distintos daqueles observados em mutações obtidas por edição gênica, reforçando que o fenótipo final depende da dose alélica e do *background* genético (WANG et al., 2020).

Para o croma (C^*), no estágio *breaker*, o maior valor foi observado em $+nor^A og^c/og^c$ (20.05), enquanto o menor valor inicial ocorreu em $+rin og^c/og^c$ (12.23). Após 18 dias, a maior saturação foi novamente registrada em $+nor^A og^c/og^c$ (46.54), ao passo que o menor valor final foi observado em $+rin +og^c$ (30.11).

A análise dos contrastes confirmou diferenças significativas para esse parâmetro (Tabela 7). Para C^*_1 , os genótipos og^c/og^c , $+rin +nor^A og^c/og^c$, $+nor^A og^c/og^c$ (C4, C8 e C14) indicaram saturação de cor significativamente superior em comparação a cultivar Pietra, exceto pelos genótipos $+rin og^c/og^c$ e $+nor^A$ (C10 e C12). enquanto comparações com o genótipo normal indicaram diferenças significativas e superiores nos contrastes C16, C19, C20 e C24, evidenciando maior intensidade cromática para os genótipos og^c/og^c , $+rin +nor^A og^c/og^c$, $+rin +og^c$, $+nor^A og^c/og^c$. O genótipo sem alelos mutantes de amadurecimento e coloração demonstrou diferença significativa positiva apenas em relação aos genótipos $+rin og^c/og^c$ e $+nor^A$ (C21 e C22).

Para C^*_2 , após armazenamento, contrastes como C6, e C14 evidenciaram maior saturação de cor para as constituições $+rin$ e $+nor^A og^c/og^c$, em relação a cultivar Pietra e ao genótipo sem mutantes (C17 e C24) (Tabela 7).

O aumento do croma está diretamente relacionado à maior concentração de licopeno no cromoplasto. Os alelos og^c são classicamente associados ao locus *Beta* (*CYC-B*), responsável pela ciclagem do licopeno em β -caroteno. Sua modulação reduz essa conversão, favorecendo o acúmulo de licopeno e intensificando a coloração vermelha (ENFISSI et al., 2017; ARRUABARRENA et al., 2023). Revisões recentes reforçam que a manipulação de genes como *LCYB/CYCB* representa estratégia central para biofortificação e melhoria da qualidade cromática em tomate (ILAHY et al., 2019).

A menor intensidade inicial observada em $+/rin\ og^c/og^c$ (Tabela 6) sugere que, no estágio *breaker*, a atividade repressora associada a *rin* pode limitar a ativação coordenada da via do licopeno e a diferenciação cromoplástica, retardando a plena expressão do potencial intensificador de og^c/og^c . Esse comportamento é coerente com evidências de que *rin* e *nor* integram uma rede regulatória ampla, controlando múltiplos módulos metabólicos associados ao amadurecimento (OSORIO et al., 2013; LI et al., 2020).

No estágio *breaker*, o maior valor de h foi observado no híbrido comercial Pietra ($+/rin$) (43.10°), enquanto o menor valor inicial ocorreu em $+/nor^A\ +/og^c$ (30.62°). Após 18 dias, o maior valor final foi registrado em $+/og^c$ (32.01°), ao passo que o menor valor foi observado em og^c/og^c (8.48°).

Os contrastes não ortogonais confirmaram diferenças expressivas para esse parâmetro (Tabela 7). Para h_1 , os contrastes C1 ao C14 indicaram valores significativamente maiores para Pietra quando comparados aos híbridos com as combinações de alelos mutantes de amadurecimento, evidenciando maior intensidade da coloração vermelha nesses genótipos. Assim como em comparação ao genótipo sem mutantes de amadurecimento e coloração, que diferiu estatisticamente nos contrastes (C16, C19, C21, C23 e C24), com valores superiores aos genótipos portadores dos alelos mutantes de amadurecimento e coloração.

Para h_2 , após armazenamento, as diferenças observadas foram positivas e significativas para Pietra (C1 ao C14), evidenciando maior consolidação da coloração vermelha da placenta nos genótipos portadores dos alelos mutantes de amadurecimento e coloração. Quando comparados ao genótipo sem mutantes, apenas os genótipos $+/og^c$, $+/rin$ e $+/nor^A\ +/og^c$, $+/nor^A$ (C15, C18 e C22) apresentaram diferenças negativas e significativas, indicando valores superiores do ângulo de tonalidade e menor consolidação da coloração vermelha nos frutos (Tabela 7).

A redução do ângulo de tonalidade ao longo do armazenamento indica deslocamento para tonalidade vermelha mais intensa, associada ao aumento da razão licopeno/ β -caroteno (GIOVANNONI, 2004). O valor extremamente baixo de h_2 em og^c/og^c (8.48°) (Tabela 6) evidência elevada consolidação do vermelho na placenta, confirmando a forte expressão fenotípica desse alelo na modulação da via de carotenoides.

Estudos de transcriptômica espacial demonstram que a expressão diferencial de genes como *ZDS*, *CRTISO* e ciclasses ocorre de forma tecido-específica ao longo do amadurecimento, resultando em assinaturas cromáticas distintas entre placenta e pericarpo (polpa) (SHINOZAKI et al., 2018). Além disso, evidências indicam que os alelos *rin* e *nor* podem modular múltiplos módulos metabólicos, incluindo plastídios, parede celular e

metabolismo primário, com efeitos dependentes do contexto genético (WANG et al., 2020; OSORIO et al., 2013).

Tabela 6. Valores médios de luminosidade (L*), cromia (C*) e ângulo de tonalidade (h), expresso em graus, da placenta dos frutos de tomate dos híbridos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2).

No. Trat	Genótipos	Constituição genotípica	L* ₁	L* ₂	C* ₁	C* ₂	h ₁ (°)	h ₂ (°)
T01	Pietra	<i>+/rin</i>	11.39 bc	18.23 cd	17.18 bcd	37.80 c	43.10 a	29.27 b
T02	TOM 810 x BPX-477D-26-02-14-05	<i>+/+ +/+ +/+</i>	5.07 h	13.96 fg	15.66 def	35.77 cde	37.58 cde	21.56 d
T03	TOM 810 x BPX-477D-26-02-04-10	<i>+/og^c</i>	5.01 h	20.56 ab	14.63 efg	31.81 fg	37.82 cde	32.01 a
T04	TOM 810 x BPX-477D-40-14-08-08	<i>+ /nor^A</i>	5.99 gh	21.74 a	13.84 gh	36.33 cde	39.47 cd	23.48 c
T05	TOM 810 x BPX-477D-25-01-08-01	<i>+/rin</i>	7.43 ef	19.41 bc	16.32 cde	42.80 b	35.56 ef	12.56 h
T06	TOM 810 x BPX-477D-25-09-03-06	<i>+/nor^A +/og^c</i>	12.35 ab	15.33 ef	16.01 cde	33.30 defg	36.17 def	16.76 e
T07	TOM 810 x BPX-477D-25-16-11-14	<i>+/rin +/og^c</i>	13.15 a	16.57 de	18.53 ab	35.81 cde	42.80 ab	14.44 g
T08	TOM 810 x BPX-477D-25-27-15-09	<i>+/rin +/nor^A +/og^c</i>	5.16 h	20.49 ab	14.17 fg	33.05 efg	40.65 abc	31.35 a
T09	TOM 615 x BPX-477D-26-02-14-05	<i>+/og^c</i>	11.03 c	19.17 bc	17.64 bc	36.91 cd	39.75 bc	16.35 ef
T10	TOM 615 x BPX-477D-26-02-04-10	<i>og^c/og^c</i>	13.51 a	19.80 abc	19.59 a	38.83 c	31.97 gh	8.48 i
T11	TOM 615 x BPX-477D-40-14-08-08	<i>+/nor^A +/og^c</i>	6.97 fg	14.99 efg	17.63 bc	35.32 cdef	30.62 h	16.85 e
T12	TOM 615 x BPX-477D-25-01-08-01	<i>+/rin +/og^c</i>	10.90 c	13.18 g	16.57 cd	30.11 g	36.20 def	17.06 e
T13	TOM 615 x BPX-477D-25-09-03-06	<i>+/nor^A og^c/og^c</i>	8.47 de	21.73 a	20.05 a	46.54 a	34.15 fg	13.37 gh
T14	TOM 615 x BPX-477D-25-16-11-14	<i>+/rin og^c/og^c</i>	3.12 i	18.50 bcd	12.23 h	37.72 c	32.00 gh	14.75 fg
T15	TOM 615 x BPX-477D-25-05-04-02	<i>+/rin +/nor^A +/og^c</i>	12.33 ab	20.07 abc	18.43 ab	38.79 c	39.44 cd	17.49 e
T16	TOM 615 x BPX-477D-25-27-15-09	<i>+/rin +/nor^A og^c/og^c</i>	8.92 d	18.42 bcd	19.88 a	38.73 c	33.81 fgh	12,29 h
	CV (%)		15.51	11.87	11.07	10.21	9.16	10.80
	p-value		p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Duncan a 5% (p<0,05) de significância.

Fonte: o próprio autor.

Tabela 7. Estimativas de contrastes não ortogonais de genótipos de tomate portadores de alelos mutantes de amadurecimento e/ou coloração, em relação a luminosidade (L^*), croma (C^*) e ângulo de tonalidade (h), expresso em graus, da placenta dos frutos de tomate dos genótipos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2).

Contraste	Comparação	L^*_1	L^*_2	C^*_1	C^*_2	h_1	h_2
C1	T1 - (T2+T3+T9+T10) /4	2.735 ***	-0.1425 ns	0.3 ns	1.97 ns	6.32 ***	9.67 ***
C2	T1 - T2	6.32 ***	4.27 ***	1.52 ns	2.03 ns	5.52 ***	7.71 ***
C3	T1 - (T3+T9) /2	3.37 ***	-1.635 ns	1.045 ns	3.44 *	4.315 **	5.09 ***
C4	T1 - T10	-2.12 ***	-1.57 ns	-2.41 **	-1.03 ns	11.13 ***	20.79 ***
C5	T1 - (T5+T7+T8+T12+T14+T15+T16) /7	2.6743 ***	0.1386 ns	0.5857 ns	1.0843 ns	5.8914 ***	12.1357 ***
C6	T1 - T5	3.96 ***	-1.18 ns	0.86 ns	-5.0 **	7.54 ***	16.71 ***
C7	T1 - (T8+T15) /2	2.645 ***	-2.05 *	0.865 ns	1.88 ns	3.055 *	4.85 ***
C8	T1 - T16	2.47 ***	-0.19 ns	-2.7 **	-0.93 ns	9.29 ***	16.98 ***
C9	T1 - (T7+T12) /2	-0.635 ns	3.355 ***	-0.37 ns	4.84 **	3.6 **	13.52 ***
C10	T1- T14	8.27 ***	-0.27 ns	4.95 ***	0.08 ns	11.1 ***	14.52 ***
C11	T1 - (T4+T6+T11+T13) /4	2.945 ***	-0.2175 ns	0.2975 ns	-0.0725 ns	7.9975 ***	11.655 ***
C12	T1 - T4	5.4 ***	-3.51 ***	3.34 ***	1.47 ns	3.63 *	5.79 ***
C13	T1 - (T6+T11) /2	1.73 **	3.07 ***	0.36 ns	3.49 *	9.705 ***	12.465 ***
C14	T1 - T13	2.92 ***	-3.5 ***	-2.87 ***	-8.74 ***	8.95 ***	15.9 ***
C15	T2 - (T3+T9) /2	-2.95 ***	-5.905 ***	-0.475 ns	1.41 ns	-1.205 ns	-2.62 **
C16	T2 - T10	-8.44 ***	-5.84 ***	-3.93 ***	-3.06 ns	5.61 ***	13.08 ***
C17	T2 - T5	-2.36 ***	-5.45 ***	-0.66 ns	-7.03 ***	2.02 ns	9.0 ***
C18	T2 - (T8+T15) /2	-3.675 ***	-6.32 ***	-0.655 ns	-0.15 ns	-2.465 ns	-2.86 ***
C19	T2 - T16	-3.85 ***	-4.46 ***	-4.22 ***	-2.96 ns	3.77 *	9.27 ***
C20	T2 - (T7+T12) /2	-6.955 ***	-0.915 ns	-1.89 *	2.81 ns	-1.92 ns	5.81 ***
C21	T2 - T14	1.95 **	-4.54 ***	3.43 ***	-1.95 ns	5.58 ***	6.81 ***
C22	T2 -T4	-0.92 ns	-7.78 ***	1.82 *	-0.56 ns	-1.89 ns	-1.92 *
C23	T2 - (T6+T11) /2	-4.59 ***	-1.2 ns	-1.16 ns	1.46 ns	4.185 **	4.755 ***
C24	T2 - T13	-3.4 ***	-7.77 ***	-4.39 ***	-10.77 ***	3.43 *	8.19 ***

^{ns}Não significativo. *, **, *** Significativo a 5%, 1% e 0,1%, respectivamente, pelo teste F.

A caracterização instrumental da columela demonstrou diferenças entre as constituições genótípicas para luminosidade (L^*), croma (C^*) e ângulo de tonalidade (h), tanto na colheita quanto após 18 dias de armazenamento (Tabela 8). Considerando que a columela apresenta menor atividade cromoplástica comparativamente ao pericarpo, as variações observadas refletem tanto a progressão metabólica da maturação quanto limitações estruturais intrínsecas desse tecido.

O maior valor de luminosidade (L^*), na avaliação inicial, foi observado para o híbrido comercial Pietra ($+rin$) (23.99), enquanto o menor valor ocorreu em $+rin\ og^c/og^c$ (3.12).

Após 18 dias de armazenamento, a maior luminosidade manteve-se para o híbrido Pietra (27.45), enquanto o menor valor final foi observado no genótipo og^c/og^c (19.88).

A manutenção de valores elevados de L^* para o híbrido comercial ($+rin$) sugere menor escurecimento interno da columela ao longo da maturação, coerente com o papel do alelo *rin* na modulação da rede regulatória do amadurecimento e na redução da atividade do etileno (LI et al., 2020; WANG et al., 2020).

A columela, por apresentar menor densidade de cromoplastos, pode manter maior reflectância luminosa mesmo em estágios mais avançados de maturação. Estudos transcriptômicos demonstram que tecidos centrais do fruto exibem menor expressão de genes da via do licopeno quando comparados ao pericarpo externo (SHINOZAKI et al., 2018), o que ajuda a explicar a manutenção de L^* elevado.

Por outro lado, a baixa luminosidade observada em $+rin\ og^c/og^c$ no estágio *breaker* indica que determinadas combinações alélicas podem intensificar a deposição inicial de pigmentos mesmo em tecido estruturalmente menos propenso à coloração intensa.

As estimativas dos contrastes confirmaram diferenças significativas entre os genótipos avaliados (Tabela 9). Para L^*_1 , todos os contrastes entre a cultivar Pietra e os demais híbridos (C1 a C14) apresentaram estimativas positivas e significativas, indicando luminosidade significativamente superior de Pietra em relação às demais constituições genótípicas. Esse resultado corrobora o teste de médias e indica maior reflectância luminosa da columela nesse híbrido comercial.

Comparações com o genótipo sem alelos mutantes de amadurecimento e coloração também revelaram diferenças significativas. Os contrastes C15, C16, C17, C18, C19, C20, C22, C23 e C24 apresentaram estimativas negativas significativas, indicando luminosidade superior nos híbridos portadores de mutações quando comparados ao genótipo

normal, exceto pelo genótipo $+/rin\ og^c/og^c$ (C21), que está de acordo com o resultado obtido no teste de médias.

Para L^*_2 , após armazenamento, observou-se padrão semelhante. Os contrastes C1 a C14 indicaram novamente valores significativamente superiores de luminosidade em Pietra em comparação aos demais híbridos. Comparações com o genótipo normal revelaram diferenças significativas negativas nos contrastes C18, C19, C22 e C24, indicando maior luminosidade da columela nos híbridos $+/rin\ +/nor^A\ +/og^c$, $+/rin\ +/nor^A\ og^c/og^c$, $+/nor^A$, $+/nor^A\ og^c/og^c$ (Tabela 9).

Na colheita, o maior valor de C^* foi observado em og^c/og^c (26.82), enquanto o menor valor ocorreu em $+/rin\ og^c/og^c$ (12.24).

Após 18 dias, o maior valor de croma foi registrado em $+/nor^A\ og^c/og^c$ (35.60), enquanto o menor valor final foi observado em $+/rin\ og^c/og^c$ (20.40).

O desempenho superior de constituições contendo og^c/og^c confirma a forte contribuição desse alelo para intensificação da saturação cromática, mesmo em tecidos menos especializados para acúmulo de licopeno. O gene associado ao locus Beta (*CYC-B*) regula a ciclagem do licopeno em β -caroteno e sua modulação favorece o acúmulo de licopeno e intensifica a coloração vermelha nos frutos (ENFISSI et al., 2017; ARRUABARRENA et al., 2023).

O expressivo aumento de C^*_2 em $+/nor^A\ og^c/og^c$ (35.60) sugere interação epistática favorável entre o retardamento parcial do amadurecimento promovido por nor^A e o redirecionamento metabólico induzido por og^c/og^c . Essa combinação pode prolongar a janela biossintética de carotenoides, permitindo maior acúmulo progressivo ao longo do armazenamento.

Em contraste, a constituição $+/rin\ og^c/og^c$, com os menores valores tanto no início quanto ao final, sugere que o efeito repressivo de *rin* sobre a rede transcricional pode limitar a plena expressão da via de carotenoides na columela, tecido já menos responsivo metabolicamente.

Os contrastes confirmaram diferenças significativas para esse parâmetro (Tabela 9). Para C^*_1 , os contrastes C3, C5, C7, C10 e C12 indicaram saturação de cor significativamente superior em Pietra em relação aos híbridos $+/og^c$, $+/rin$, contendo ou não og^c , $+/rin\ +/nor^A\ +/og^c$, $+/rin\ og^c/og^c$ e $+/nor^A$. O contraste C4, foi significativo e negativo, evidenciando que o genótipo og^c/og^c obteve maior intensidade da saturação cromática quando comparado a Pietra. Em relação ao genótipo normal, o genótipo og^c/og^c (C16), diferiu significativamente, indicando maior concentração de pigmentos nesse material. Os contrastes

C15, C18 e C21, foram significativos e positivos para o genótipo sem mutantes de amadurecimento e coloração, em relação aos genótipos $+/og^c$, $+/rin +/nor^A +/og^c$, $+/rin og^c/og^c$.

Para C*₂, após armazenamento, diversos contrastes (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10 e C13) indicaram saturação cromática significativamente superior em Pietra quando comparada a vários híbridos avaliados, evidenciando maior intensidade da coloração vermelha na testemunha comercial. Comparações com o genótipo normal também revelaram diferenças significativas e negativas nos contrastes C15, C17, C18, C22, C23 e C24, indicando maior saturação de cor nos genótipos $+/og^c$, $+/rin$, $+/rin +/nor^A +/og^c$, $+/nor^A$, $+/nor^A +/og^c$ e $+/nor^A og^c/og^c$. O contraste C21, foi significativo e positivo para o genótipo sem mutantes em comparação ao genótipo $+/rin, og^c/og^c$. (Tabela 9).

No estágio *breaker*, o maior valor para o ângulo de tonalidade foi observado para Pietra (47.58°), enquanto o menor valor ocorreu em og^c/og^c (25.33°).

Após 18 dias, o maior valor final foi registrado em $+/nor^A +/og^c$ (16.88°), enquanto o menor valor foi observado em og^c/og^c (5.28°).

A redução do h° ao longo do armazenamento indica deslocamento para tonalidade vermelha mais intensa, associada ao aumento da razão licopeno/ β -caroteno (GIOVANNONI, 2004).

O valor extremamente baixo de h_2 em og^c/og^c demonstra consolidação acentuada da tonalidade vermelha na columela, reforçando o papel determinante desse alelo na modulação da via do licopeno, independentemente do tecido analisado.

A análise dos contrastes confirmou diferenças significativas entre os genótipos avaliados (Tabela 9). Para h_1 , todos os contrastes entre Pietra e os demais híbridos (C1 a C14) apresentaram estimativas positivas e significativas, indicando maior ângulo de tonalidade nesse híbrido comercial. Como valores elevados de h indicam coloração menos vermelha, esses resultados confirmam que diversos híbridos apresentaram tonalidade vermelha mais intensa do que Pietra.

Comparações com o genótipo normal revelaram diferenças significativas em alguns contrastes. Os contrastes C16 e C21 foram significativos e positivos para o genótipo sem mutantes de amadurecimento e coloração, demonstrando que os genótipos og^c/og^c e $+/rin og^c/og^c$ obteve maior consolidação da coloração vermelha neste tecido do fruto. O contraste C20 apresentou estimativas significativas positivas para o genótipo normal, em comparação ao genótipo $+/rin +/og^c$, o que corresponde a menor intensidade da coloração vermelha nesse material.

Para h_2 , após armazenamento, o padrão observado foi semelhante. Diversos

contrastes em relação à cultivar Pietra (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C9, 11, C12 e C13) indicaram valores significativamente inferiores de h_2 em diferentes híbridos, evidenciando maior consolidação da coloração vermelha nesses genótipos. Comparações com o genótipo normal também revelaram diferenças significativas. O contraste C16 foi significativo e positivo para o híbrido sem mutantes, evidenciando maior intensidade da coloração vermelha nos frutos na constituição *og^c/og^c*. No entanto, os contrastes C15, C17, C18, C19, C20, C21, C22 e C23, apresentaram estimativas significativas e negativas, indicando que os genótipos com diferentes combinações de alelos mutantes de amadurecimento e intensificação de coloração apresentaram menor consolidação da coloração vermelha na columela dos frutos em relação ao genótipo normal (Tabela 9).

Estudos recentes indicam que mutações em *rin* e *nor* alteram não apenas a biossíntese de carotenoides, mas também a biogênese plastidial e o remodelamento da parede celular, afetando a microestrutura interna do fruto (OSORIO et al., 2013). Essa interação estrutural-metabólica pode explicar diferenças mais pronunciadas na columela, onde o arcabouço vascular exerce influência significativa na distribuição de pigmentos.

Tabela 8. Valores médios de luminosidade (L^*), croma (C^*) e ângulo de tonalidade (h), expresso em graus, da columela dos frutos de tomate dos híbridos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2).

No. Trat	Genótipos	Constituição genotípica	L^*_1 ^P	L^*_2 ^L	C^*_1	C^*_2 ^P	h_1 ^P (°)	h_2 ^L (°)
T01	Pietra	<i>+/rin</i>	23.99 a	27.45 a	23.72 bcd	33.61 ab	47.58 a	15.27 abc
T02	TOM 810 x BPX-477D-26-02-14-05	<i>+/+ +/+ +/+</i>	6.03 ij	20.57 cde	22.84 cde	25.88 g	32.17 efgh	7.9 f
T03	TOM 810 x BPX-477D-26-02-04-10	<i>+/og^c</i>	9.29 gh	21.40 cde	16.65 f	30.04 cd	34.86 bcde	8.34 f
T04	TOM 810 x BPX-477D-40-14-08-08	<i>+ /nor^A</i>	7.68 hi	22.58 bcd	21.18 e	32.89 b	30.90 fghi	13.33 cd
T05	TOM 810 x BPX-477D-25-01-08-01	<i>+/rin</i>	11.43 f	21.37 cde	21.77 de	29.03 de	33.50 cdef	10.96 e
T06	TOM 810 x BPX-477D-25-09-03-06	<i>+/nor^A +/og^c</i>	14.91 e	19.70 e	21.66 de	25.17 gh	35.60 bcd	15.82 ab
T07	TOM 810 x BPX-477D-25-16-11-14	<i>+/rin +/og^c</i>	15.57 de	21.15 cde	22.96 cde	28.47 de	35.95 bc	8.34 f
T08	TOM 810 x BPX-477D-25-27-15-09	<i>+/rin +/nor^A +/og^c</i>	9.91 fg	22.64 bc	17.03 f	27.56 ef	29.58 hij	8.31 f
T09	TOM 615 x BPX-477D-26-02-14-05	<i>+/og^c</i>	16.8 cd	20.26 de	23.26 cde	31.52 bc	33.20 defg	16.29 a
T10	TOM 615 x BPX-477D-26-02-04-10	<i>og^c/og^c</i>	14.04 e	19.88 e	26.82 a	26.26 fg	25.33 j	5.28 g
T11	TOM 615 x BPX-477D-40-14-08-08	<i>+/nor^A +/og^c</i>	14.56 e	22.20 bcd	25.54 ab	34.15 ab	30.45 ghi	16.88 a
T12	TOM 615 x BPX-477D-25-01-08-01	<i>+/rin +/og^c</i>	14.26 e	20.79 cde	22.88 cde	25.75 gh	37.27 b	16.32 a
T13	TOM 615 x BPX-477D-25-09-03-06	<i>+/nor^A og^c/og^c</i>	16.95 c	24.09 b	22.64 cde	35.60 a	31.04 ghi	7.63 f
T14	TOM 615 x BPX-477D-25-16-11-14	<i>+/rin og^c/og^c</i>	3.12 j	22.33 bcd	12.24 g	20.40 i	28.77 ij	16.01 a
T15	TOM 615 x BPX-477D-25-05-04-02	<i>+/rin +/nor^A +/og^c</i>	15.15 e	22.64 bc	24.92 abc	29.75 cd	36.04 bc	12.22 de
T16	TOM 615 x BPX-477D-25-27-15-09	<i>+/rin +/nor^A og^c/og^c</i>	19.16 b	22.72 bc	22.62 cde	23.96 hi	32.47 efgh	14.01 bcd
CV (%)				10.20	10.34			6.21
p-value			p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Duncan a 5% ($p<0,05$) de significância. ^LDados transformados em $\log(x)$. ^PDados analisados por estatística não paramétrica pelo teste de Kruskal-Wallis seguido de comparações múltiplas, em que médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste T a 5% ($p<0,05$) de significância.

Fonte: o próprio autor.

Tabela 9. Estimativas de contrastes não ortogonais de genótipos de tomate portadores de alelos mutantes de amadurecimento e/ou coloração, em relação a luminosidade (L*), croma (C*) e ângulo de tonalidade (h), expresso em graus, da columela dos frutos de tomate dos genótipos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2).

Contraste	Comparação	L* ₁	L* ₂	C* ₁	C* ₂	h ₁	h ₂
C1	T1 - (T2+T3+T9+T10) /4	12.45 ***	6.9225 ***	1.3275 ns	5.185 ***	16.19 ***	5.8175 ***
C2	T1 - T2	17.96 ***	6.88 ***	0.88 ns	7.73 ***	15.41 ***	7.37 ***
C3	T1 - (T3+T9) /2	10.945 ***	6.62 ***	3.765 ***	2.83 **	13.55 ***	2.955 ***
C4	T1 - T10	9.95 ***	7.57 ***	-3.1 **	7.35 ***	22.25 ***	9.99 ***
C5	T1 - (T5+T7+T8+T12+T14+T15+T16) /7	11.3329 ***	5.5014 ***	3.0886 ***	7.1929 ***	14.2114 ***	2.96 ***
C6	T1 - T5	12.56 ***	6.08 ***	1.95 ns	4.58 ***	14.08 ***	4.31 ***
C7	T1 - (T8+T15) /2	11.46 ***	4.81 ***	2.745 **	4.955 ***	14.77 ***	5.005 ***
C8	T1 - T16	4.83 ***	4.73 ***	1.1 ns	9.65 ***	15.11 ***	1.26 ns
C9	T1 - (T7+T12) /2	9.075 ***	6.48 ***	0.8 ns	6.5 ***	10.97 ***	2.94 ***
C10	T1 - T14	20.87 ***	5.12 ***	11.48 ***	13.21 ***	18.81 ***	-0.74 ns
C11	T1 - (T4+T6+T11+T13) /4	10.465 ***	5.3075 ***	0.965 ns	1.6575 ns	15.5825 ***	1.855 **
C12	T1 - T4	16.31 ***	4.87 ***	2.54 *	0.72 ns	16.68 ***	1.94 *
C13	T1 - (T6+T11) /2	9.255 ***	6.5 ***	0.12 ns	3.95 ***	14.555 ***	-1.08 ns
C14	T1 - T13	7.04 ***	3.36 ***	1.08 ns	-1.99 ns	16.54 ***	7.64 ***
C15	T2 - (T3+T9) /2	-7.015 ***	-0.26 ns	2.885 **	-4.9 ***	-1.86 ns	-4.415 ***
C16	T2 - T10	-8.01 ***	0.69 ns	-3.98 ***	-0.38 ns	6.84 ***	2.62 **
C17	T2 - T5	-5.4 ***	-0.8 ns	1.07 ns	-3.15 **	-1.33 ns	-3.06 ***
C18	T2 - (T8+T15) /2	-6.5 ***	-2.07 *	1.865 *	-2.775 **	-0.64 ns	-2.365 **
C19	T2 - T16	-13.13 ***	-2.15 *	0.22 ns	1.92 ns	-0.3 ns	-6.11 ***
C20	T2 - (T7+T12) /2	-8.885 ***	-0.4 ns	-0.08 ns	-1.23 ns	-4.44 ***	-4.43 ***
C21	T2 - T14	2.91 ***	-1.76 ns	10.6 ***	5.48 ***	3.4 *	-8.11 ***
C22	T2 - T4	-1.65 *	-2.01 *	1.66 ns	-7.01 ***	1.27 ns	-5.43 ***
C23	T2 - (T6+T11) /2	-8.705 ***	-0.38 ns	-0.76 ns	-3.78 ***	-0.855 ns	-8.45 ***
C24	T2 - T13	-10.92 ***	-3.52 ***	0.2 ns	-9.72 ***	1.13 ns	0.27 ns

^{ns}Não significativo. *, **, *** Significativo a 5%, 1% e 0,1% , respectivamente, pelo teste F.

3.5.1.2 Coloração externa de frutos

A análise colorimétrica da epiderme, realizada em quatro pontos equatoriais distintos dos frutos, evidenciou diferenças estatisticamente significativas entre as constituições genótípicas para L^* , C^* e h , tanto na colheita quanto após 18 dias de armazenamento (Tabela 10). A epiderme representa o tecido com maior relevância comercial, sendo o primeiro atributo percebido pelo consumidor e refletindo diretamente a eficiência da conversão cloroplasto–cromoplasto e a consolidação da biossíntese de carotenoides.

O maior valor de luminosidade, na avaliação inicial, foi observado para $+/rin +/nor^A og^c/og^c$ (35.27), enquanto o menor valor ocorreu em $+/rin +/og^c$ (7.53).

Após 18 dias de armazenamento, o maior valor de L^* foi registrado em $+/rin +/nor^A +/og^c$ (23.73), enquanto o menor valor final foi observado no híbrido sem *rin*, *nor^A* e *og^c* (4.94).

A redução de L^* na epiderme acompanha o avanço da maturação e o aumento da densidade de licopeno nos cromoplastos epidérmicos. Diferentemente da placenta e columela, a epiderme apresenta elevada atividade da via MEP e forte indução de genes estruturais como *PSY1*, *PDS* e *ZDS*, particularmente sob regulação de *rin* e *nor* (LI et al., 2020; OSORIO et al., 2013).

A maior luminosidade observada em constituições contendo *rin* e *nor^A* combinados com *og^c/og^c* sugere atraso parcial na consolidação do vermelho externo, enquanto genótipos sem alelos de amadurecimento apresentaram rápida redução de L^* , indicando avanço mais acelerado da coloração (Figura 4).

A análise dos contrastes não ortogonais confirmou diferenças significativas entre os genótipos avaliados (Tabela 11). Para L^*_1 , diversos contrastes envolvendo a cultivar Pietra apresentaram estimativas positivas e significativas, como observado nos contrastes C1, C2, C4, C5, C6, C9, C10, C11, C12 e C13, indicando maior luminosidade da epiderme em Pietra quando comparada a vários híbridos portadores de alelos mutantes. Em contraste, alguns híbridos apresentaram luminosidade superior à da cultivar comercial, evidenciado pelos contrastes C3, C7, C8 e C14, cujas estimativas negativas indicam valores maiores de L^* nos genótipos $+/og^c$, $+/rin +/nor^A +/og^c$, $+/rin +/nor^A og^c/og^c$, $+/nor^A og^c/og^c$.

Quando comparados ao genótipo sem mutações de amadurecimento e coloração, diversos híbridos apresentaram valores significativamente superiores de luminosidade, conforme indicado pelos contrastes C15, C16, C18, C19, C21, C22, C23 e C24,

corroborando os resultados observados no teste de médias (Tabelas 10 e 11).

Para L^*_2 , após o período de armazenamento, observou-se comportamento semelhante. Diversos contrastes em relação a cultivar Pietra (C1, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C13 e C14) apresentaram estimativas negativas e significativas, indicando maior luminosidade nesses híbridos. Já os contrastes C2 e C12, apresentaram estimativas significativas e positivas, indicando que os híbridos sem alelos mutantes e $+nor^A$ apresentaram menor luminosidade na epiderme dos frutos e, portanto, maior intensificação da coloração vermelha externa. Comparações com o genótipo normal também evidenciaram diferenças significativas e negativas, principalmente nos contrastes C15, C16, C17, C18, C19, C20, C21, C23 e C24, indicando maior luminosidade em vários híbridos portadores de mutações após o armazenamento (Tabela 11).

Quanto ao croma, no estágio *breaker*, o maior valor foi observado em $+nor^A og^c/og^c$ (37.14), enquanto o menor valor ocorreu no híbrido sem *rin*, nor^A e og^c (21.98).

Após 18 dias, a maior saturação cromática foi registrada em og^c/og^c (36.69), enquanto o menor valor final foi observado em $+rin +og^c$ (20.59).

O aumento da saturação na epiderme reflete diretamente o acúmulo de licopeno, principal carotenoide responsável pela coloração vermelha do tomate maduro. O alelo og^c , associado ao locus *CYC-B*, reduz a ciclagem do licopeno em β -caroteno, favorecendo seu acúmulo e intensificando a saturação da cor (ENFISSI et al., 2017; ARRUABARRENA et al., 2023).

O fato de $+nor^A og^c/og^c$ apresentar o maior C^* inicial indica que a presença de og^c/og^c é capaz de compensar parcialmente o efeito modulador de nor^A já nas fases iniciais do amadurecimento. Esse resultado reforça que a intensidade de cor externa é altamente dependente da partição metabólica na etapa final da via do licopeno.

Por outro lado, a menor saturação final observada em $+rin +og^c$ sugere que *rin* pode limitar a plena expressão do potencial intensificador de og^c quando não há combinação favorável com outros moduladores.

As estimativas dos contrastes evidenciaram diferenças significativas entre os genótipos avaliados (Tabela 11). Para C^*_1 , contrastes como C1, C2, C5, C6, C9, C11, C12 e C13 apresentaram estimativas positivas e significativas, indicando saturação de cor superior na cultivar Pietra em comparação a diversos híbridos avaliados. Em relação ao genótipo normal, contrastes como C15, C16, C18, C19, C22, C23 e C24 evidenciaram maior saturação cromática em híbridos portadores de mutações.

Para C^*_2 , após armazenamento, diversos contrastes indicaram saturação

significativamente maior em híbridos mutantes quando comparados à cultivar Pietra, como observado nos contrastes C1, C3, C4, C5, C6, C7, C9, C10, C11, C13 e C14. Comparações com o genótipo sem mutantes também revelaram diferenças significativas e negativas em todos os contrastes (C15 a C24), indicando maior saturação de cor externa nesses genótipos (Tabela 11).

Para o h , o maior valor foi observado em $+/rin +/nor^A og^c/og^c$ (57.11°), enquanto o menor valor ocorreu em $+/rin +/og^c$ (39.31°), na avaliação inicial.

Após 18 dias, o maior valor final foi registrado em $+/rin +/nor^A +/og^c$ (39.50°), enquanto o menor valor foi observado para o híbrido sem $+/rin +/nor^A +/og^c$ (26.26°).

A análise dos contrastes confirmou diferenças significativas para esse parâmetro (Tabela 11). Para h_1 , contrastes como C1, C2, C4, C6 e C9 apresentaram estimativas positivas e significativas, indicando maior ângulo de tonalidade na cultivar Pietra em comparação a diversos híbridos avaliados. Como valores elevados de h indicam coloração menos vermelha, esses resultados indicam que vários híbridos apresentaram tonalidade vermelha mais intensa do que Pietra, exceto pelos genótipos $+/rin +/nor^A og^c/og^c$, $+/rin og^c/og^c$, $+/nor^A og^c/og^c$ (C8, C10 e C14). Comparações com o genótipo normal também revelaram diferenças significativas e negativas nos contrastes C15, C18, C19, C21, C23 e C24, evidenciando maior h_1 em diversos híbridos, e portanto, menor consolidação da tonalidade vermelha nos frutos nas constituições $+/og^c$, $+/rin +/nor^A +/og^c$, $+/rin +/nor^A og^c/og^c$, $+/rin og^c/og^c$, $+/nor^A +/og^c$, $+/nor^A og^c/og^c$.

Para h_2 , após armazenamento, contrastes como C1, C2, C3, C4, e C13 indicaram diferenças significativas e positivas entre Pietra e vários híbridos, indicando menor tonalidade vermelha em Pietra comparado aos genótipos sem rin e nor^A , contendo ou não og^c , sem alelos mutantes de amadurecimento e coloração, $+/og^c$, og^c/og^c e $+/nor^A +/og^c$. Enquanto comparações com o genótipo sem mutações evidenciaram diferenças significativas e negativas em todos os contrastes (C15 a C24), indicando maior ângulo de tonalidade e, consequentemente, menor intensidade de vermelho nesses genótipos (Tabela 11).

A redução de h indica deslocamento da tonalidade do amarelo-alaranjado para vermelho intenso, acompanhando o aumento da razão licopeno/ β -caroteno (GIOVANNONI, 2004).

Tabela 10. Valores médios de luminosidade (L*), croma (C*) e ângulo de tonalidade (h), expresso em graus, da epiderme dos frutos de tomate dos híbridos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2).

No. Trat	Genótipos	Constituição genotípica	L* ₁	L* ₂ ^R	C*1	C*2	h ₁ ^P (°)	h ₂ (°)
T01	Pietra	+/ <i>rin</i>	24.28 e	7.60 e	35.64 ab	21.62 fg	46.63 cd	32.81 d
T02	TOM 810 x BPX-477D-26-02-14-05	+/+ +/+ +/+	12.20 gh	4.94 g	21.98 f	18.45 h	40.18 h	26.26 g
T03	TOM 810 x BPX-477D-26-02-04-10	+/ <i>og</i> ^c	29.74 b	19.88 b	31.62 c	32.06 b	46.82 de	29.12 ef
T04	TOM 810 x BPX-477D-40-14-08-08	+/ <i>nor</i> ^A	20.29 f	6.01 f	27.71 d	21.20 fg	43.79 efg	38.51 a
T05	TOM 810 x BPX-477D-25-01-08-01	+/ <i>rin</i>	11.02 h	20.07 b	21.72 f	29.11 c	42.25 gh	38.71 a
T06	TOM 810 x BPX-477D-25-09-03-06	+/ <i>nor</i> ^A +/ <i>og</i> ^c	24.83 de	5.32 fg	32.16 c	21.12 fg	47.97 bcd	27.47 fg
T07	TOM 810 x BPX-477D-25-16-11-14	+/ <i>rin</i> +/ <i>og</i> ^c	12.75 g	17.41 c	22.31 f	26.30 d	45.06 def	35.93 b
T08	TOM 810 x BPX-477D-25-27-15-09	+/ <i>rin</i> +/ <i>nor</i> ^A +/ <i>og</i> ^c	26.89 c	23.73 a	32.48 c	31.98 b	45.67 de	32.98 d
T09	TOM 615 x BPX-477D-26-02-14-05	+/ <i>og</i> ^c	25.55 cde	15.46 d	36.48 a	24.04 e	43.13 fg	30.42 e
T10	TOM 615 x BPX-477D-26-02-04-10	<i>og</i> ^c / <i>og</i> ^c	24.29 e	19.69 b	35.22 ab	36.69 a	40.43 h	28.57 ef
T11	TOM 615 x BPX-477D-40-14-08-08	+/ <i>nor</i> ^A +/ <i>og</i> ^c	7.65 i	22.24 a	23.95 ef	30.91 bc	43.80 efg	33.62 cd
T12	TOM 615 x BPX-477D-25-01-08-01	+/ <i>rin</i> +/ <i>og</i> ^c	7.53 i	7.65 e	25.19 e	20.59 g	39.31 h	29.63 e
T13	TOM 615 x BPX-477D-25-09-03-06	+/ <i>nor</i> ^A <i>og</i> ^c / <i>og</i> ^c	31.14 b	20.61 b	37.14 a	29.37 c	51.14 ab	33.42 cd
T14	TOM 615 x BPX-477D-25-16-11-14	+/ <i>rin</i> <i>og</i> ^c / <i>og</i> ^c	20.82 f	23.17 a	23.18 ef	24.39 e	52.97 a	34.99 bc
T15	TOM 615 x BPX-477D-25-05-04-02	+/ <i>rin</i> +/ <i>nor</i> ^A +/ <i>og</i> ^c	30.85 b	19.73 b	36.93 a	29.72 c	50.12 abc	39.50 a
T16	TOM 615 x BPX-477D-25-27-15-09	+/ <i>rin</i> +/ <i>nor</i> ^A <i>og</i> ^c / <i>og</i> ^c	35.27 a	20.76 b	33.88 bc	23.08 ef	57.11 a	36.17 b
CV (%)			7.52	4.46	8.57	8.21		6.25
p-value			p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Duncan a 5% (p<0,05) de significância. ^RDados transformados para $\sqrt{x}$.

^PDados analisados por estatística não paramétrica pelo teste de Kruskal-Wallis seguido de comparações múltiplas, em que médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste T a 5% (p<0,05) de significância.

Fonte: o próprio autor.

Tabela 11. Estimativas de contrastes não ortogonais de genótipos de tomate portadores de alelos mutantes de amadurecimento e/ou coloração, em relação a luminosidade (L*), croma (C*) e ângulo de tonalidade (h), expresso em graus, da epiderme dos frutos de tomate dos genótipos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2).

Contraste	Comparação	L* ₁	L* ₂	C* ₁	C* ₂	h ₁	h ₂
C1	T1 - (T2+T3+T9+T10) /4	3.1129 ***	-7.3923 ***	4.315 ***	-6.1881 ***	3.9931 **	4.2181 ***
C2	T1 - T2	13.855 ***	2.6625 ***	13.66 ***	3.1725 **	6.455 ***	6.5525 ***
C3	T1 - (T3+T9) /2	-1.5875 *	-10.07 ***	1.5912 ns	-6.4275 ***	1.655 ns	3.04 ***
C4	T1 - T10	1.7718 *	-12.0916 ***	0.4175 ns	-15.07 ***	6.2075 **	4.24 ***
C5	T1 - (T5+T7+T8+T12+T14+T15+T16) /7	5.3264 ***	-11.3336 ***	7.6848 ***	-4.8319 ***	-0.864 ns	-2.6044 ***
C6	T1 - T5	15.0325 ***	-12.47 ***	13.9225 ***	-7.4925 ***	4.3825 *	-5.9 ***
C7	T1 - (T8+T15) /2	-2.81 ***	-14.1312 ***	0.935 ns	-9.2288 ***	-1.2579 ns	-3.4312 ***
C8	T1 - T16	-9.2075 ***	-13.165 ***	1.765 ns	-1.4625 ns	-10.475 ***	-3.355 ***
C9	T1 - (T7+T12) /2	15.9188 ***	-4.9338 ***	11.8869 ***	-1.823 *	4.4475 **	0.0312 ns
C10	T1- T14	5.2425 ***	-15.57 ***	12.4625 ***	-2.765 **	-6.335 **	-2.176 *
C11	T1 - (T4+T6+T11+T13) /4	5.0806 ***	-5.9456 ***	5.4025 ***	-4.0275 ***	-0.0394 ns	-0.4444 ns
C12	T1 - T4	5.7675 ***	1.59 *	7.9325 ***	0.425 ns	2.845 ns	-5.7025 ***
C13	T1 - (T6+T11) /2	9.8162 ***	-6.1812 ***	7.5888 ***	-4.3925 ***	0.75 ns	2.2688 **
C14	T1 - T13	-5.0775 ***	-13.01 ***	-1.5 ns	-7.75 ***	-4.5025 *	-0.6125 ns
C15	T2 - (T3+T9) /2	-15.4425 ***	-12.7325 ***	-12.0688 ***	-9.6 ***	-4.8 **	-3.5125 ***
C16	T2 - T10	-12.0832 ***	-14.7541 ***	-13.2425 ***	-18.2425 ***	-0.2475 ns	-2.3125 *
C17	T2 - T5	1.1775 ns	-15.1325 ***	0.2625 ns	-10.665 ***	-2.0725 ns	-12.4525 ***
C18	T2 - (T8+T15) /2	-16.665 ***	-16.7938 ***	-12.725 ***	-12.4012 ***	-7.7129 ***	-9.9838 ***
C19	T2 - T16	-23.0625 ***	-15.8275 ***	-11.895 ***	-4.635 ***	-16.93 ***	-9.9075 ***
C20	T2 - (T7+T12) /2	2.0638 ***	-7.5962 ***	-1.7731 ns	-4.9955 ***	-2.0075 ns	-6.5212 ***
C21	T2 - T14	-8.6125 ***	-18.2325 ***	-1.1975 ns	-5.9375 ***	-12.79 ***	-8.7285 ***
C22	T2 -T4	-8.0875 ***	-1.0725 ns	-5.7275 ***	-2.7475 **	-3.61 ns	-12.255 ***
C23	T2 - (T6+T11) /2	-4.0388 ***	-8.8438 ***	-6.0712 ***	-7.565 ***	-5.705 ***	-4.2838 ***
C24	T2 - T13	-18.9325 ***	-15.6725 ***	-15.16 ***	-10.9225 ***	-10.9575 ***	-7.165 ***

^{ns}Não significativo. *, **, *** Significativo a 5%, 1% e 0,1% , respectivamente, pelo teste F.

Figura 4. Variação da coloração externa de frutos de híbridos de tomateiro no estágio *breaker* e após 18 dias de armazenamento, evidenciando diferenças fenotípicas associadas às constituições genótípicas para os loci *rin*, *nor^A* e *og^C*.



Fonte: o próprio autor.

3.5.1.3 Espessura de polpa, sólidos solúveis e cicatriz peduncular

Os genótipos avaliados diferiram entre si para espessura de polpa, teor de sólidos solúveis e cicatriz peduncular (Tabela 12).

Conforme resultados da Tabela 8, na colheita, os valores médios para espessura de polpa variaram entre (8.57 mm) no híbrido Pietra (+/*rin*), e (5.56 mm) em +/*nor*^A. Após 18 dias de armazenamento, o maior valor foi observado em +/*rin* +/*og*^c (7.75 mm) e o menor em +/*rin* (6.22 mm).

A espessura da polpa constitui atributo estrutural relevante para firmeza, resistência mecânica e tolerância ao transporte. Frutos com maior espessura de pericarpo tendem a apresentar menor susceptibilidade a danos mecânicos e maior vida útil pós-colheita (BERTIN; GENARD, 2018). A superioridade de constituições contendo *rin* associado a *og*^c sugere que o retardo parcial do amadurecimento promovido por *rin* pode ter contribuído para manutenção estrutural mais robusta no momento da colheita.

Mutações em *rin* são conhecidas por modular a degradação da parede celular, afetando enzimas como poligalacturonase e expansinas, o que repercute diretamente na integridade do pericarpo (LI et al., 2020). Assim, valores mais elevados de espessura inicial podem refletir menor avanço da desestruturação celular.

Quanto ao teor de sólidos solúveis, no estágio *breaker*, o maior teor foi observado em +/*nor*^A (4.53 °Brix), enquanto o menor valor ocorreu em +/*rin* +/*nor*^A +/*og*^c (3.64 °Brix). Após 18 dias, o maior valor foi registrado em *og*^c/*og*^c (4.68 °Brix) e o menor em +/*og*^c (3,69 °Brix).

O teor de sólidos solúveis (°Brix) representa a fração de solutos dissolvidos no suco do fruto, sendo composto majoritariamente por açúcares solúveis, principalmente glicose e frutose, além de ácidos orgânicos (predominantemente cítrico e málico), aminoácidos e compostos voláteis (KARADENIZ; EKŞİ, 1996; FULTON et al., 2002). Em termos sensoriais, o balanço entre açúcares e ácidos orgânicos é determinante para a percepção de sabor, sendo considerado um dos principais atributos de aceitação pelo consumidor (TIEMAN et al., 2017).

A literatura descreve que tomates do tipo longa vida genético, caracterizados pela presença de alelos mutantes como *rin* e *nor*, frequentemente apresentam sabor menos intenso, associado a menores teores de sólidos solúveis (PADILHA, 2019). Esse comportamento está relacionado à modulação do metabolismo primário promovida por esses

alelos, que afetam não apenas a coloração, mas também vias de glicólise, respiração e transporte de açúcares (QIN et al., 2011; LI et al., 2020).

Entretanto, os dados do presente estudo indicam que o efeito dos alelos de amadurecimento sobre o teor de sólidos solúveis não foi uniforme entre as constituições avaliadas. A constituição $+/\text{nor}^A$ apresentou elevado °Brix inicial, enquanto combinações envolvendo *rin* e nor^A simultaneamente apresentaram valores inferiores. Esse padrão sugere que o controle do teor de açúcares possui natureza quantitativa complexa, envolvendo interações epistáticas entre múltiplos loci.

O teor de sólidos solúveis é reconhecidamente um caráter poligênico, com forte influência de genes de efeito aditivo e epistático (BECKLES, 2012). Estudos clássicos de segregação demonstraram que o alelo *nor* pode exercer efeitos pleiotrópicos sobre o metabolismo de carboidratos, mas seu impacto depende do *background* genético e da interação com outros loci (RODRIGUEZ et al., 2010). Trabalhos mais recentes reforçam que a qualidade sensorial do tomate é resultado da interação entre genes que regulam açúcar, ácidos e compostos voláteis, frequentemente com efeitos epistáticos (TIEMAN et al., 2017).

Além disso, o fator maturação pós-colheita pode alterar o teor de sólidos solúveis por meio de processos respiratórios e conversão de reservas estruturais. Durante o armazenamento, ocorre intensificação da atividade enzimática relacionada à conversão de amido residual e degradação de polissacarídeos de parede celular, podendo elevar levemente o °Brix (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Esse comportamento pode explicar o aumento observado em constituições como og^c/og^c após 18 dias.

É importante destacar que a literatura frequentemente relata associação negativa entre aumento de sólidos solúveis e firmeza, devido à degradação da parede celular e maior avanço do amadurecimento (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Contudo, no presente conjunto de dados, não foi observada associação consistente entre espessura de polpa e °Brix, sugerindo que a modulação genética dos alelos de amadurecimento pode dissociar parcialmente esses processos. Esse resultado reforça a hipótese de que interações epistáticas possam estar suprimindo efeitos pleiotrópicos esperados de *rin* e *nor* sobre o metabolismo de açúcares.

O gene *rin* é conhecido por regular diretamente a expressão de múltiplos genes envolvidos no metabolismo de carboidratos, incluindo enzimas associadas à conversão de sacarose e à respiração mitocondrial (QIN et al., 2011; ROYCHOUDHURY, 2021). Portanto, diferenças observadas entre constituições contendo *rin* isoladamente ou em combinação com nor^A e og^c indicam que o efeito metabólico final depende da arquitetura

genética específica.

A maior cicatriz peduncular foi observada na constituição $+/rin +/nor^A +/og^c$ (23.18 mm), enquanto o menor valor foi registrado em $+/nor^A$ (16.59 mm).

A dimensão da cicatriz peduncular é um atributo morfoestrutural associado à arquitetura floral e ao padrão de crescimento do fruto. Embora não esteja diretamente relacionada à qualidade sensorial, influencia susceptibilidade a patógenos e perda de água pós-colheita (ROCHA et al., 2018).

Constituições com maior diâmetro de cicatriz podem apresentar maior área potencial de entrada de microrganismos ou perda hídrica, o que deve ser considerado em programas de melhoramento voltados à conservação. Entretanto, a relação entre cicatriz peduncular e mutações de amadurecimento ainda é pouco explorada na literatura, sugerindo que diferenças observadas possam estar mais associadas ao *background* genético do que aos alelos *rin*, *nor^A* ou *og^c* propriamente ditos.

Tabela 12. Características de qualidade de frutos de tomate dos híbridos avaliados, amostrados na primeira colheita (1) e após 18 dias de armazenamento (2). Espessura de polpa (mm), sólidos solúveis (°Brix) e cicatriz peduncular (mm).

No. Trat	Genótipos	Constituição genotípica	Espessura da polpa 1 (mm)	Espessura da polpa 2 (mm)	Sólidos solúveis 1 (°Brix)	Sólidos solúveis 2 (°Brix)	Cicatriz peduncular 1 (mm)
T01	Pietra	<i>+/rin</i>	8.57 a	7.38 ab	3.92 cdef	4.06 cdef	18.61 de
T02	TOM 810 x BPX-477D-26-02-14-05	<i>+/+ +/+ +/+</i>	6.22 ef	7.37 ab	4.32 abc	4.42 abc	18.25 de
T03	TOM 810 x BPX-477D-26-02-04-10	<i>+/og^c</i>	7.45 bcd	7.49 ab	3.74 ef	3.69 f	16.90 e
T04	TOM 810 x BPX-477D-40-14-08-08	<i>+ /nor^A</i>	5.56 f	7.10 abc	4.53 a	4.34 abcd	16.59 e
T05	TOM 810 x BPX-477D-25-01-08-01	<i>+/rin</i>	7.61 abcd	6.22 c	3.96 cdef	4.09 cdef	19.19 bcde
T06	TOM 810 x BPX-477D-25-09-03-06	<i>+/nor^A +/og^c</i>	6.91 cde	7.16 abc	3.85 def	4.20 bcde	22.58 a
T07	TOM 810 x BPX-477D-25-16-11-14	<i>+/rin +/og^c</i>	7.91 abc	7.75 a	4.41 ab	4.24 bcde	18.82 cde
T08	TOM 810 x BPX-477D-25-27-15-09	<i>+/rin +/nor^A +/og^c</i>	6.51 def	6.33 c	4.27 abc	4.57 ab	20.46 abcd
T09	TOM 615 x BPX-477D-26-02-14-05	<i>+/og^c</i>	7.37 bcd	6.65 bc	3.94 cdef	4.20 bcde	21.75 ab
T10	TOM 615 x BPX-477D-26-02-04-10	<i>og^c/og^c</i>	7.42 bcd	6.50 bc	4.21 abcd	4.68 a	21.46 abc
T11	TOM 615 x BPX-477D-40-14-08-08	<i>+/nor^A +/og^c</i>	7.45 bcd	6.77 abc	3.96 cdef	4.29 abcd	18.95 cde
T12	TOM 615 x BPX-477D-25-01-08-01	<i>+/rin +/og^c</i>	6.81 cde	7.22 abc	3.67 f	3.82 ef	19.22 bcde
T13	TOM 615 x BPX-477D-25-09-03-06	<i>+/nor^A og^c/og^c</i>	8.37 ab	7.71 a	4.11 bcde	4.08 cdef	19.13 bcde
T14	TOM 615 x BPX-477D-25-16-11-14	<i>+/rin og^c/og^c</i>	7.44 bcd	7.50 ab	4.46 ab	4.19 bcde	23.15 a

No. Trat	Genótipos	Constituição genotípica	Espessura da polpa ₁ (mm)	Espessura da polpa ₂ (mm)	Sólidos solúveis ₁ (°Brix)	Sólidos solúveis ₂ (°Brix)	Cicatriz peduncular ₁ (mm)
T15	TOM 615 x BPX-477D- 25-05-04-02	<i>+/rin +/nor^A</i> <i>+/og^c</i>	6.85 cde	7.13 abc	3.64 f	4.06 cdef	23.18 a
T16	TOM 615 x BPX-477D- 25-27-15-09	<i>+/rin +/nor^A</i> <i>og^c/og^c</i>	7.62 abcd	6.53 bc	4.30 abc	3.95 def	22.23 a
	CV (%)		15.37	13.72	10.01	10.16	13.64
	p-value		p<0.001	p<0.01	p<0.001	p<0.001	p<0.001

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Duncan a 5% (p<0,05) de significância.

Fonte: o próprio autor.

3.5.1.4 Firmeza dos frutos

Quanto a firmeza no dia da colheita (estádio *breaker*), os genótipos diferiram entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade (Tabela 13).

A firmeza dos frutos constitui um dos principais atributos determinantes da qualidade pós-colheita em tomate, estando diretamente relacionada à integridade da parede celular, à resistência ao manuseio e à vida útil comercial. A redução da firmeza durante o amadurecimento decorre da desestruturação da parede celular primária e da lamela média, envolvendo desesterificação e despolimerização de pectinas, perda de açúcares neutros e ácido galacturônico, além de solubilização de oligossacarídeos estruturais (ITO et al., 2021). Esse processo é acompanhado pela ação coordenada de enzimas como pectina metilesterase (PME), poligalacturonase (PG), β -galactosidase, endo-1,4- β -D-glucanase e xiloglucano endotransglicosilase (GIOVANNONI et al., 2017; ROYCHOUDHURY, 2021).

Considerando que a firmeza crítica para frutos de tomate é de $2 \times 10^4 \text{ N m}^{-2}$, abaixo da qual os frutos deixam de ser considerados adequados para consumo, todos os genótipos avaliados apresentaram valores iniciais (A_0) substancialmente superiores a esse limite, indicando adequada resistência estrutural no estágio *breaker*.

O maior valor de firmeza inicial foi observado na constituição og^c/og^c (6.58 N m^{-2}), enquanto o menor valor ocorreu em $+nor^4 +/og^c$ (4.76 N m^{-2}).

É particularmente relevante que o maior valor inicial não esteja associado à presença do alelo *rin*. Tradicionalmente, *rin* é descrito como regulador principal do amadurecimento, controlando a expressão de centenas de genes associados à degradação da parede celular e à produção de etileno (ITO et al., 2017; ROYCHOUDHURY, 2021). Entretanto, estudos recentes indicam que o amolecimento pode ocorrer parcialmente independentemente de *rin*, dependendo do *background* genético e da interação com outros reguladores hormonais (LI et al., 2019).

O fato de og^c/og^c apresentar a maior firmeza inicial sugere que esse alelo, embora classicamente associado à intensificação de cor via modulação do metabolismo de carotenoides, não compromete a integridade estrutural do pericarpo e pode estar inserido em *backgrounds* geneticamente favoráveis à espessura e organização celular. Isso reforça que o efeito de og^c não apresenta pleiotropia negativa evidente sobre firmeza.

A constituição $+nor^4 +/og^c$, que apresentou menor A_0 , indica que a interação entre nor^4 e og^c pode influenciar negativamente a resistência estrutural inicial em

determinados *backgrounds*. O alelo *nor^A* (*alcobaça*) é conhecido por modular o amadurecimento de forma menos drástica que *rin*, mas ainda interfere na regulação de genes associados à parede celular (WANG et al., 2020).

As estimativas dos contrastes corroboraram parcialmente os resultados obtidos no teste de média (Tabela 14). Em comparação a cultivar Pietra, apenas o contraste C4 foi significativo para A_0 , com estimativa negativa, indicando que o híbrido *og^c/og^c* apresentou firmeza inicial superior à da testemunha comercial. Além disso, o contraste C2 mostrou que o genótipo normal também apresentou A_0 superior ao de Pietra.

Quando o genótipo normal foi utilizado como referência, observou-se que ele apresentou firmeza inicial significativamente superior à de vários híbridos portadores de mutações, conforme evidenciado pelos contrastes C15, C17, C19, C20, C21 e C23 (Tabela 14). Em outras palavras, o genótipo normal superou os híbridos *+/og^c*, *+/rin*, *+/rin +/nor^A*, *og^c/og^c*, *+/rin +/og^c*, *+/rin og^c/og^c* e *+/nor^A +/og^c* quanto à firmeza inicial. Esses resultados indicam que, embora a constituição *og^c/og^c* tenha se destacado no teste de médias, o efeito dos alelos mutantes sobre A_0 não foi uniforme entre os *backgrounds* avaliados.

A meia-vida da firmeza (T), que representa o tempo necessário para que o fruto atinja metade de sua firmeza inicial, apresentou diferenças altamente significativas entre as constituições genotípicas (Tabela 13).

O maior valor de T foi observado em *+/nor^A* (27.28 dias), enquanto o menor valor foi registrado no *og^c/og^c* (10.60 dias).

Esse resultado evidencia de forma clara o impacto do alelo *nor^A* na extensão da vida útil. Trabalhos anteriores relatam que constituições heterozigotas para alelos de amadurecimento, como *+/rin* e *+/nor^A*, aumentam significativamente a firmeza e prolongam a meia-vida dos frutos (POMA et al., 2017; BENITES et al., 2010). A superioridade observada em *+/nor^A* confirma que esse alelo exerce efeito consistente na desaceleração do amolecimento.

A meia-vida intermediária observada em constituições combinadas, como *+/rin +/nor^A og^c/og^c* (21,16 dias) e *+/rin +/nor^A +/og^c* (20.81 dias), sugere efeito epistático parcial entre os alelos reguladores. O amadurecimento do tomate não é controlado exclusivamente por etileno, envolve interação complexa entre etileno, ácido abscísico (ABA) e auxinas (CHEN et al., 2016; SHIN et al., 2019). Assim, o efeito final sobre a taxa de amolecimento depende da arquitetura regulatória específica de cada constituição genética.

É importante destacar que, embora *rin* seja tradicionalmente associado a forte inibição do amadurecimento, estudos recentes demonstram que a manutenção da firmeza

não depende exclusivamente desse alelo. Li et al. (2019) demonstraram que genes associados à modificação da parede celular podem permanecer ativos mesmo na ausência de *rin* funcional, sugerindo mecanismos compensatórios. Isso é coerente com os resultados observados, nos quais os maiores valores de A_0 e T não estão necessariamente associados à presença isolada de *rin*.

Os contrastes não ortogonais confirmaram esse comportamento de forma consistente (Tabela 14). Em relação a cultivar Pietra, o contraste C12 apresentou estimativa negativa e altamente significativa, indicando que o híbrido $+nor^A$ apresentou meia-vida da firmeza superior à da testemunha comercial. Assim, a superioridade de $+nor^A$ observada no teste de médias foi corroborada diretamente pela análise de contrastes.

Quando comparados ao genótipo normal, vários híbridos também apresentaram diferenças significativas para T. Os contrastes C18, C19, C20, C21 e C22 apresentaram estimativas negativas e significativas, indicando maior meia-vida da firmeza nos híbridos $+rin +nor^A +og^c$, $+rin +nor^A og^c/og^c$, $+rin +og^c$, $+rin og^c/og^c$ e $+nor^A$, respectivamente, em relação ao genótipo sem mutações.

Tabela 13. Características de qualidade de frutos de tomate dos híbridos avaliados. Firmeza inicial de frutos no estágio *breaker* (A_0) em $N\ m^{-2}$ e meia vida da firmeza (T) em dias.

No. Trat	Genótipos	Constituição genotípica	A_0 ($\times 10^4\ N.m^{-2}$)	T ^R (dias)
T01	Pietra	<i>+ / rin</i>	5.27 cd	15.91 b
T02	TOM 810 x BPX-477D-26-02-14-05	<i>+ / + + / + + / +</i>	6.50 ab	10.85 a
T03	TOM 810 x BPX-477D-26-02-04-10	<i>+ / og^c</i>	5.11 cd	10.76 a
T04	TOM 810 x BPX-477D-40-14-08-08	<i>+ / nor^A</i>	6.02 abc	27.28 e
T05	TOM 810 x BPX-477D-25-01-08-01	<i>+ / rin</i>	5.17 cd	16.45 bc
T06	TOM 810 x BPX-477D-25-09-03-06	<i>+ / nor^A + / og^c</i>	4.76 d	15.94 b
T07	TOM 810 x BPX-477D-25-16-11-14	<i>+ / rin + / og^c</i>	5.33 cd	18.61 cde
T08	TOM 810 x BPX-477D-25-27-15-09	<i>+ / rin + / nor^A + / og^c</i>	5.87 abcd	19.94 de
T09	TOM 615 x BPX-477D-26-02-14-05	<i>+ / og^c</i>	4.94 cd	11.35 a
T10	TOM 615 x BPX-477D-26-02-04-10	<i>og^c / og^c</i>	6.58 a	10.60 a
T11	TOM 615 x BPX-477D-40-14-08-08	<i>+ / nor^A + / og^c</i>	5.02 cd	15.07 b
T12	TOM 615 x BPX-477D-25-01-08-01	<i>+ / rin + / og^c</i>	5.39 bcd	19.05 de
T13	TOM 615 x BPX-477D-25-09-03-06	<i>+ / nor^A og^c / og^c</i>	5.75 abcd	15.31 b
T14	TOM 615 x BPX-477D-25-16-11-14	<i>+ / rin og^c / og^c</i>	5.31 cd	18.36 cd
T15	TOM 615 x BPX-477D-25-05-04-02	<i>+ / rin + / nor^A + / og^c</i>	5.79 abcd	20.81 de
T16	TOM 615 x BPX-477D-25-27-15-09	<i>+ / rin + / nor^A og^c / og^c</i>	4.97 cd	21.16 de
	CV (%)		20.25	6.95
	p-value		p<0.01	p<0.001

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Duncan a 5% ($p < 0,05$) de significância. ^RDados transformados para $\sqrt{x}$.
 Fonte: o próprio autor.

Tabela 14. Estimativas de contrastes não ortogonais de genótipos de tomate portadores de alelos mutantes de amadurecimento e/ou coloração, em relação a firmeza inicial de frutos no estágio *breaker* (A_0) em N m^{-2} e meia vida da firmeza (T) em dias.

Contraste	Comparação	A_0 ($\times 10^4 \text{ N.m}^{-2}$)	T (dias)
C1	$T1 - (T2+T3+T9+T10) / 4$	-0.512 ns	5.0217 *
C2	$T1 - T2$	-1.233 *	5.0654 ns
C3	$T1 - (T3+T9) / 2$	0.2465 ns	4.8531 ns
C4	$T1 - T10$	-1.308 **	5.3154 ns
C5	$T1 - (T5+T7+T8+T12+T14+T15+T16) / 7$	-0.1357 ns	-3.2896 ns
C6	$T1 - T5$	0.102 ns	-0.5416 ns
C7	$T1 - (T8+T15) / 2$	-0.561 ns	-4.4672 ns
C8	$T1 - T16$	0.298 ns	-5.254 ns
C9	$T1 - (T7+T12) / 2$	-0.094 ns	-2.9217 ns
C10	$T1 - T14$	-0.04 ns	-2.4535 ns
C11	$T1 - (T4+T6+T11+T13) / 4$	-0.1198 ns	-2.4888 ns
C12	$T1 - T4$	-0.752 ns	-11.3667 ***
C13	$T1 - (T6+T11) / 2$	0.379 ns	0.4051 ns
C14	$T1 - T13$	-0.485 ns	0.6015 ns
C15	$T2 - (T3+T9) / 2$	1.4795 ***	-0.2123 ns
C16	$T2 - T10$	-0.075 ns	0.25 ns
C17	$T2 - T5$	1.335 **	-5.607 ns
C18	$T2 - (T8+T15) / 2$	0.672 ns	-9.5326 ***
C19	$T2 - T16$	1.531 **	-10.3194 ***
C20	$T2 - (T7+T12) / 2$	1.139 **	-7.9871 **
C21	$T2 - T14$	1.193 *	-7.5189 *
C22	$T2 - T4$	0.481 ns	-16.4321 ***
C23	$T2 - (T6+T11) / 2$	1.612 ***	-4.6603 ns
C24	$T2 - T13$	0.748 ns	-4.4639 ns

^{ns}Não significativo. *, **, *** Significativo a 5%, 1% e 0,1% , respectivamente, pelo teste F.

3.5.2 Componentes de Produção

Os componentes de produção apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as constituições genótípicas avaliadas (Tabela 15), indicando que o *background* genético influenciou a massa individual dos frutos e o rendimento por planta.

De acordo com os resultados da Tabela 15, a maior massa média de frutos foi observada no genótipo *+rin +og^c* (198 g/fruto), enquanto o menor valor ocorreu em *+rin og^c/og^c* (143 g/fruto).

A massa média de frutos é característica quantitativa complexa, fortemente influenciada por fatores genéticos que regulam divisão e expansão celular durante o desenvolvimento do fruto (BERTIN; GÉNARD, 2018). O fato de a maior MMF estar associada à presença de *rin* em heterozigose combinado com *og^c* indica que a modulação do amadurecimento não comprometeu o crescimento pré-climatérico do fruto. Isso reforça que os alelos *rin* e *nor^A* atuam predominantemente na fase de maturação e não necessariamente interferem nas etapas iniciais de expansão celular.

A análise dos contrastes revelou poucas diferenças significativas para esse caráter (Tabela 16). Entre os contrastes envolvendo a cultivar Pietra, nenhuma comparação apresentou efeito significativo, indicando que a massa média dos frutos de Pietra não diferiu estatisticamente da maioria dos híbridos avaliados.

Por outro lado, quando o genótipo normal foi utilizado como referência, observou-se diferença significativa no contraste C15, no qual a estimativa negativa indicou maior massa média de frutos nos híbridos *+og^c*, em comparação ao genótipo sem alelos mutantes. Resultado semelhante foi observado no contraste C16, indicando superioridade do híbrido *og^c/og^c* em relação ao genótipo normal. Além disso, o contraste C24 também apresentou estimativa negativa significativa, indicando maior massa média no híbrido *+nor^A og^c/og^c* em relação ao genótipo normal.

Estudos anteriores relataram redução na massa média de frutos na presença de alelos mutantes de amadurecimento, mesmo em heterozigose (SANTOS JÚNIOR et al., 2005). Contudo, Andrade Júnior et al. (2005) observaram que tais efeitos dependem fortemente do *background* genético, podendo não se manifestar em determinados materiais. Os resultados aqui obtidos corroboram essa segunda hipótese, indicando que a presença de *rin*, *nor^A* ou *og^c* não implicou redução sistemática da MMF.

A maior massa total por planta foi registrada no híbrido comercial Pietra

($+/rin$) (9.01 kg/planta), seguida de $+/rin +/nor^4 og^c/og^c$ (8.83 kg/planta). O menor valor foi observado no híbrido sem *rin*, *nor*⁴ e *og*^c (3,44 kg/planta).

Esse resultado é particularmente relevante, pois demonstra que genótipos contendo alelos de amadurecimento não apresentaram redução produtiva, ao contrário, figuraram entre os mais produtivos. Parte da literatura associa mutações em *rin* e *nor* à redução de rendimento, especialmente quando em homozigose, devido ao retardo do amadurecimento e possível permanência prolongada dos frutos na planta (CÁ et al., 2006; DUARTE et al., 2023). Contudo, os dados obtidos não corroboram essa tendência.

Os contrastes não ortogonais confirmaram a superioridade produtiva de Pietra em diversas comparações (Tabela 16). Todos os contrastes C1 a C7, C9 a C14 apresentaram estimativas positivas e significativas, indicando que Pietra apresentou maior massa total por planta do que a maioria das combinações genotípicas avaliadas.

Por outro lado, quando o genótipo normal foi utilizado como referência, observou-se comportamento oposto. Os contrastes C15, C16, C18, C19, C20, C21, C22, C23 e C24 apresentaram estimativas negativas e significativas, indicando maior massa total por planta nos híbridos portadores de alelos mutantes em comparação ao genótipo sem mutações.

Esses resultados indicam que, embora a cultivar comercial Pietra tenha apresentado elevado rendimento individual, diversos híbridos contendo alelos mutantes de amadurecimento ou coloração superaram o genótipo normal quanto à produção por planta.

A hipótese de que o retardo na maturação possa afetar negativamente a produtividade baseia-se na ideia de que o atraso no climatério pode interferir na dinâmica de floração e frutificação subsequente. Entretanto, Taiz et al. (2017) destacam que a produtividade pode ser afetada principalmente por alterações hormonais relacionadas à abscisão floral e frutífera, especialmente via etileno. Caso o alelo mutante reduza excessivamente a síntese de etileno, poderia haver impacto na abscisão de flores jovens (TUCKER; KIM, 2015). Todavia, no presente estudo, tal efeito não se manifestou.

A maior produção total foi observada no híbrido Pietra (72.05 kg) e em $+/rin +/nor^4 og^c/og^c$ (70.65 kg), enquanto o menor valor foi registrado no híbrido sem *rin*, *nor*⁴ e *og*^c (27.50 kg).

Esses resultados indicam que a presença combinada de alelos de amadurecimento e de intensificação de cor não comprometeu a produtividade global. Ao contrário, determinadas combinações genéticas apresentaram desempenho produtivo superior.

A análise dos contrastes confirmou esse padrão (Tabela 16). Entre os contrastes envolvendo Pietra, praticamente todas as comparações (C1 a C7, C9 a C14)

apresentaram estimativas positivas e significativas, indicando produção total superior da cultivar comercial em relação aos demais híbridos comparados.

Quando o genótipo normal foi utilizado como referência, observou-se comportamento inverso. Os contrastes C15, C16, C18, C19, C20, C21, C22, C23 e C24 apresentaram estimativas negativas e significativas, indicando produção total superior nos híbridos portadores de mutações em comparação ao genótipo sem alelos de amadurecimento ou coloração.

Duarte et al. (2023) relatam que reduções produtivas associadas a alelos *rin* e *nor* ocorrem principalmente em condições homozigóticas severas e podem afetar a precocidade de colheita, mais do que a produção total. Della Vecchia e Koch (2000) sugerem que o retardo no amadurecimento pode prolongar a permanência do fruto na planta, influenciando a dinâmica de colheita, mas não necessariamente a produtividade final.

Os resultados obtidos sugerem que a permanência prolongada dos frutos, quando ocorre, pode afetar a precocidade, mas não reduziu o rendimento acumulado ao final do ciclo. Além disso, a presença de *og^c* em diversas constituições produtivas sugere que esse alelo pode não apresentar efeito pleiotrópico negativo sobre componentes de rendimento. Hazra et al. (2012) e Andrade Júnior et al. (2005) já haviam sugerido que a associação entre alelos de amadurecimento e alelos intensificadores de coloração pode contribuir para manutenção da produtividade, possivelmente por meio de interações epistáticas favoráveis.

Tabela 15. Características produção de frutos de tomate dos híbridos avaliados. Massa média dos frutos (MMF) em g/fruto, massa total de frutos por planta (MT/planta) em kg/planta e produção total de frutos (PTF) em kg.

No. Trat	Genótipos	Constituição genotípica	MMF (g/fruto)	MT/planta ^L (kg/planta)	PTF ^L (kg)
T01	Pietra	<i>+ / rin</i>	162 bcd	9.01 a	72.05 a
T02	TOM 810 x BPX-477D-26-02-14-05	<i>+/+ +/+ +/+</i>	157 bcd	3.44 h	27.50 h
T03	TOM 810 x BPX-477D-26-02-04-10	<i>+ / og^c</i>	183 ab	4.96 de	39.67 de
T04	TOM 810 x BPX-477D-40-14-08-08	<i>+ / nor^A</i>	177 abc	6.27 c	50.19 c
T05	TOM 810 x BPX-477D-25-01-08-01	<i>+ / rin</i>	172 abc	4.19 efg	33.52 efg
T06	TOM 810 x BPX-477D-25-09-03-06	<i>+ / nor^A + / og^c</i>	170 bc	6.36 c	50.88 c
T07	TOM 810 x BPX-477D-25-16-11-14	<i>+ / rin + / og^c</i>	198 a	7.95 ab	63.63 ab
T08	TOM 810 x BPX-477D-25-27-15-09	<i>+ / rin + / nor^A + / og^c</i>	176 abc	6.51 c	52.11 c
T09	TOM 615 x BPX-477D-26-02-14-05	<i>+ / og^c</i>	179 abc	4.12 fg	32.95 fg
T10	TOM 615 x BPX-477D-26-02-04-10	<i>og^c / og^c</i>	184 ab	6.04 c	48.35 c
T11	TOM 615 x BPX-477D-40-14-08-08	<i>+ / nor^A + / og^c</i>	159 bcd	6.76 bc	54.09 bc
T12	TOM 615 x BPX-477D-25-01-08-01	<i>+ / rin + / og^c</i>	152 cd	3.71 gh	29.64 gh
T13	TOM 615 x BPX-477D-25-09-03-06	<i>+ / nor^A og^c / og^c</i>	181 ab	4.83 def	38.66 def
T14	TOM 615 x BPX-477D-25-16-11-14	<i>+ / rin og^c / og^c</i>	143 d	5.08 d	40.64 d
T15	TOM 615 x BPX-477D-25-05-04-02	<i>+ / rin + / nor^A + / og^c</i>	175 abc	7.03 bc	56.23 bc
T16	TOM 615 x BPX-477D-25-27-15-09	<i>+ / rin + / nor^A og^c / og^c</i>	171 abc	8.83 a	70.65 a
	CV (%)		9.65	6.65	3.03
	p-value		p<0.01	p<0.001	p<0.001

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Duncan a 5% (p<0,05) de significância. ^LDados transformados em log(x).

Fonte: o próprio autor.

Tabela 16. Estimativas de contrastes não ortogonais de genótipos de tomate portadores de alelos mutantes de amadurecimento e/ou coloração, em relação a massa média dos frutos (MMF) em g/fruto, massa total de frutos por planta (MT/planta) em kg/planta e produção total de frutos (PTF) em kg.

Contraste	Comparação	MMF (g/fruto)	MT/planta (kg/planta)	PTF (kg)
C1	T1 - (T2+T3+T9+T10) /4	-13.6424 ns	4.3663 ***	34.9305 ***
C2	T1 - T2	5.3369 ns	5.5684 ***	44.547 ***
C3	T1 - (T3+T9) /2	-18.7742 ns	4.4675 ***	35.7398 ***
C4	T1 - T10	-22.3581 ns	2.9619 ***	23.6954 ***
C5	T1 - (T5+T7+T8+T12+T14+T15+T16) /7	-7.4573 ns	2.8197 ***	22.5579 ***
C6	T1 - T5	-9.8526 ns	4.8159 ***	38.5275 ***
C7	T1 - (T8+T15) /2	-13.3724 ns	2.2349 ***	17.8792 ***
C8	T1 - T16	-9.0844 ns	0.1744 ns	1.3954 ns
C9	T1 - (T7+T12) /2	-12.9143 ns	3.1764 ***	25.4109 ***
C10	T1- T14	19.3093 ns	3.9253 ***	31.4021 ***
C11	T1 - (T4+T6+T11+T13) /4	-9.8599 ns	2.9492 ***	23.5935 ***
C12	T1 - T4	-14.8634 ns	2.7322 ***	21.8575 ***
C13	T1 - (T6+T11) /2	-2.587 ns	2.4454 ***	19.5634 ***
C14	T1 - T13	-19.4023 ns	4.1737 ***	33.3898 ***
C15	T2 - (T3+T9) /2	-24.1112 *	-1.1009 *	-8.8072 *
C16	T2 - T10	-27.695 *	-2.6064 ***	-20.8515 ***
C17	T2 - T5	-15.1896 ns	-0.7524 ns	-6.0194 ns
C18	T2 - (T8+T15) /2	-18.7094 ns	-3.3335 ***	-26.6678 ***
C19	T2 - T16	-14.4213 ns	-5.3939 ***	-43.1515 ***
C20	T2 - (T7+T12) /2	-18.2512 ns	-2.392 ***	-19.136 ***
C21	T2 - T14	13.9724 ns	-1.6431 **	-13.1448 **
C22	T2 -T4	-20.2003 ns	-2.8362 ***	-22.6894 ***
C23	T2 - (T6+T11) /2	-7.9239 ns	-3.1229 ***	-24.9835 ***
C24	T2 - T13	-24.7393 *	-1.3946 *	-11.1572 *

^{ns}Não significativo. *, **, *** Significativo a 5%, 1% e 0,1%, respectivamente, pelo teste F.

3.6 CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que os efeitos dos alelos *rin*, *nor^A* e *og^c* sobre qualidade e produtividade do tomateiro são fortemente dependentes da constituição genotípica e das interações epistáticas estabelecidas entre esses loci. O alelo *og^c*, especialmente em homozigose, foi determinante para intensificação da coloração interna e externa. Por outro lado, a presença isolada de *+/rin* não garantiu superioridade consistente para firmeza ou rendimento, evidenciando que o efeito estrutural clássico atribuído a esse alelo é condicionado pelo *background* genético. A combinação *+/rin +/nor^A og^c/og^c* destacou-se por apresentar desempenho equilibrado, reunindo elevada intensidade de cor, conservação da firmeza e alto desempenho produtivo. Esses achados indicam que a associação estratégica entre alelos regulatórios do amadurecimento e alelos metabólicos da via carotenóidica constitui abordagem promissora para o desenvolvimento de híbridos com melhor qualidade pós-colheita e manutenção do desempenho agronômico.

4 CONCLUSÕES GERAIS

O presente estudo demonstrou que os efeitos dos alelos mutantes de amadurecimento *rin* e *nor^A* e do alelo intensificador de coloração *og^c* são altamente dependentes do *background* genético e das interações epistáticas estabelecidas entre esses loci. A avaliação integrada dos parâmetros de coloração interna e externa, meia-vida da firmeza, espessura de polpa, sólidos solúveis e componentes de produção evidenciou que a expressão fenotípica desses mutantes não ocorre de forma isolada ou determinística, mas resulta da interação entre regulação transcricional do amadurecimento e modulação metabólica da via carotenóidica.

Os resultados indicaram que o alelo *og^c*, especialmente em homozigose, foi determinante para intensificação da coloração pós-colheita, compensando, em diversas combinações, os efeitos de redução pigmentária frequentemente associados aos mutantes de amadurecimento. Por sua vez, a presença isolada de *+/rin* não garantiu superioridade consistente para firmeza ou produtividade, reforçando que o efeito estrutural desses mutantes depende fortemente da constituição genética.

A combinação *+/rin +/nor^A og^c/og^c* destacou-se como a constituição genotípica mais equilibrada, apresentando superioridade simultânea para intensidade de cor, conservação de firmeza e atributos produtivos. Esse resultado evidencia que a associação estratégica entre alelos regulatórios do amadurecimento e alelos metabólicos da biossíntese de carotenoides pode gerar híbridos com qualidade superior e maior potencial de conservação pós-colheita, sem penalização produtiva.

Dessa forma, conclui-se que o melhoramento genético visando qualidade e vida útil do tomateiro deve priorizar combinações gênicas específicas, e não a introgressão isolada de mutantes de amadurecimento. A compreensão das interações epistáticas entre *rin*, *nor^A* e *og^c* mostrou-se fundamental para a obtenção de frutos que conciliem firmeza prolongada, coloração adequada e desempenho agrônômico satisfatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE JUNIOR, V. C.; MALUF, W. R.; FARIA, M. V.; BENITES, F. R. G.; SANTOS JÚNIOR, A. M. Yield and fruit quality of tomato hybrids heterozygous for ripening and color mutant alleles. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.6, p.555-561, jun. 2005.
- ARAÚJO, M. L.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. A.; OLIVEIRA, A. C. B. Intra and interlocus interactions between alcobaça (alc), crimson (ogc), and high pigment (hp) loci in tomato *Lycopersicon esculentum* Mill. **Euphytica**, Wageningen, v. 125, n. 2, p. 215-226, 2002.
- ARIAS, R.; LEE, T.C.; LOGENDRA, L.; JANES, H. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L, a, b color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. **J Agric Food Chem.** 2000 May, 48(5):1697-702.
- ARRUABARRENA, A.; LADO, J.; GONZÁLEZ-ARCOS, M.; VIDAL, S. Targeted disruption of tomato chromoplast-specific lycopene β -cyclase (CYC-B) gene promotes early accumulation of lycopene in fruits and enhanced postharvest cold tolerance. **Plant Biotechnol J.** 2023 Dec, 21(12):2420-2422.
- BARRY, C. S.; GIOVANNONI, J. J. Ethylene and fruit ripening. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 26, p. 143–159, 2007.
- BECKLES, D.; M. Fatores que afetam os sólidos solúveis pós-colheita e o teor de açúcar do tomate (*Solanum lycopersicum* L.), **ScienceDirect**, 63, p.129–140, 2012.
- BENITES, F. R. G.; MALUF, W. R.; PAIVA, L. V.; FARIA, M. V.; ANDRADE JUNIOR, V. C.; GONÇALVES, L. D. Allelism test between the alcobaça and non-ripening mutants in tomato plants. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. especial, p. 1669-1673, 2010.
- BERTIN, N.; GENARD, M. Tomato quality as influenced by preharvest factors. **Scientia Horticulturae**, v. 233, p. 264–276, 2018.
- CÁ, J. A.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. A.; NASCIMENTO, I. R.; FARIA, M. V.; LICURSI, V.; MORETTO, P. Híbridos de tomateiro longa-vida com frutos de maior intensidade de coloração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 9, p. 1377-1384, 2006.
- CALBO, A. G.; NERY, A. A. Medida de firmeza em hortaliças pela técnica de aplanção. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 13, n. 1, p. 14-18, 1995.
- CASALS, J.; RULL, A.; GINÉ-BORDONABA, J. Changes in ripening-related quality traits of long shelf life tomatoes as influenced by water deficit and short-term postharvest storage. **Agronomy**, v. 11, art. 2304, 2021.
- CHEN, P.; SUN, Y.F.; KAI, W.B.; LIANG, B.; ZHANG, Y.S.; ZHAI, X.W.; JIANG, L. DU, Y.W.; LENG, P. Interactions of ABA signaling core components. SIPYLs, SIPP2Cs, and SLSnPK2s. in tomato *Solanum lycopersicon*. **Journal of Plant Physiology**, 205: 67–74, 2016.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras, UFLA. 783 p. 2005.
- COSTA NETA, C. M.; MARTINS, A. K. V.; AMORIM, D. J.; SILVA, M. S.; FERREIRA, L. S.; SILVA, M. D. C.; PIRES, I. C. G.; ALMEIDA, E. I. B. Perdas pós-colheita de frutas

em diferentes segmentos comerciais de Teresina (PI). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 3, p. 440-453, 2020.

DELLA VECCHIA, P. T.; KOCH, P. S. Tomates longa vida: o que são, como foram desenvolvidos? **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 1, p. 3-4, 2000.

DINIZ, F. C. P. Caracterização de linhagens de tomateiro portadores de alelos de amadurecimento e coloração. 2024. 145 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

DISTEFANO, M.; ARENA, E.; MAURO, R.P.; BRIGHINA, S.; LEONARDI, C.; FALLICO, B.; GIUFFRIDA, F. Effects of Genotype, Storage Temperature and Time on Quality and Compositional Traits of Cherry Tomato. **Foods**. 2020 Nov 25;9(12):1729.

DUARTE, G. N.; MALUF, W. R.; DUARTE, G. B.; OLIVEIRA, A. S.; LICURSI, V. Fruit color and firmness in tomato hybrids as a function of the alleles rin, nor, norA, ogc and hp, **Scientia Horticulturae**, v. 319, p. 112–159, 2023.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018.

ENFISSI, E.M.; NOGUEIRA, M.; BRAMLEY, P.M.; FRASER, P.D. The regulation of carotenoid formation in tomato fruit. **Plant J**. 2017 Feb;89(4):774-788.

FARIA, M. V.; MALUF, W. R.; RESENDE, J. T. V.; ANDRADE JUNIOR, V. C.; NASCIMENTO, I. R.; BENITES, F. R. G.; MENEZES, C. B.; AZEVEDO, S. M. Rin, nor(A), og(c) and hp mutants in tomatoes with different genetic backgrounds. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 793-800, 2006.

FULTON, T. M; BUCHELI, P.; VOIROL, E.; TANKSLEY, S. D. Loci de características quantitativas (QTL) que afetam açúcares, ácidos orgânicos e outras propriedades bioquímicas possivelmente contribuindo para o sabor, identificados em quatro populações avançadas de retrocruzamento de tomate. **Euphytica**, 127, 163–177, 2002.

GIOVANNONI, J. J. Genetic regulation of fruit development and ripening. **The Plant Cell**, v. 16, p. S170–S180, 2004.

GIOVANNONI, J.; NGUYEN, C.; AMPOFO, B.; ZHONG, S.; FEI, Z. The epigenome and transcriptional dynamics of fruit ripening. **Annual Review of Plant Biology**, v. 68, p. 61-84, 2017.

HAZRA, P. et al. Effect of mutant genes on the content of the nutritive quality related compounds in Tomato (*Solanum lycopersicum*) fruits. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 960, p. 311-318, 2012.

ILAHY, R.; TLILI, I.; SIDDIQUI, M.W.; HDIDER, C.; LENUCCI, M.S. Inside and Beyond Color: Comparative Overview of Functional Quality of Tomato and Watermelon Fruits. **Front Plant Sci**. 2019 Jun 13, 10:769.

ITO, Y; NISHIZAWA-YOKOI, A.; ENDO, M.; MIKAMI, M.; SHIMA, Y.; NAKAMURA, N.; KOTAKE-NARA, E.; KAWASAKI, S.; TOKI, S. Re-evaluation of the rin mutation and the role of RIN in the induction of tomato ripening. **Nat Plants**. 2017 Nov; 3(11):866-874.

ITO, Y.; NAKAMURA, N.; KOTAKE-NARA, E. Semi-dominant effects of a novel ripening inhibitor (rin) locus allele on tomato fruit ripening. **PLoS One**, v. 16, n. 4, e0249575, 2021.

KARADENIZ, F.; EKŞİ, A. Uma pesquisa sobre a composição química da polpa de tomate. *Turk. J. Agric.*, 20, p. 445-448, 1996.

KOPELIOVITCH, E.; RABINOWITCH, H. D.; MIZRAHI, Y.; KEDAR, N. The potential of ripening mutants for extending the storage life of the tomato fruit. *Euphytica*, Wageningen, v. 28, n. 1, p. 99-104, 1979.

KONICA MINOLTA. **Glossary**. 2014. Disponível em: <http://www.konicaminolta.com/global-en/investors/glossary/index.html>. Acesso em: 14 ago. 2025.

KUMAR, R.; TAMBOLI, V.; SHARMA, R.; SREELAKSHMI, Y. NAC-NOR mutations in tomato Penjar accessions attenuate multiple metabolic processes and prolong fruit shelf life. *Food Chemistry*, v. 259, p. 234-244, 2018.

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software*, Los Angeles, v. 25, n. 1, p. 1-18, 2008.

LENTH, R. V. **emmeans: Estimated marginal means, aka least-squares means**. 2025. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>. Acesso em: 15 fev. 2026.

LI, S.; ZHU, B.; PIRRELLO, J.; XU, C.; ZHANG, B.; BOUZAYEN, M.; GRIERSON, D. Papéis do rin e do etileno no amadurecimento dos frutos do tomate e nas características associadas ao amadurecimento. *New Phytologist*, 226(2), 460-475, 2019.

LI, S.; ZHU, B.; PIRRELLO, J.; XU, C.; ZHANG, B.; BOUZAYEN, M.; CHEN, K.; GRIERSON, D. Roles of RIN and ethylene in tomato fruit ripening and ripening-associated traits. *New Phytol.* 2020 Apr;226(2):460-475.

LIU, L.; SHAO, Z.; ZHANG, M.; WANG, Q. Regulation of carotenoid metabolism in tomato. *Mol Plant*. 2015 Jan;8(1):28-39.

LÓPEZ CAMELO, A. F.; GÓMEZ, P. A. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 22, n. 3, p. 534-537, 2004.

MENDIBURU, F. de. **agricolae: Statistical procedures for agricultural research**. 2023. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>. Acesso em: 15 fev. 2026.

MOORE, S.; VREBALOV, J.; PAYTON, P.; GIOVANNONI, J. Use of genomics tools to isolate key ripening genes and analyse fruit maturation in tomato. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 53, n. 377, p. 2023-2030, 2002.

NATALINI, A.; ACCIARRI, N.; CARDI, T. Breeding for nutritional and organoleptic quality in vegetable crops: the case of tomato and cauliflower. *Agriculture*, v. 11, art. 606, 2021.

OSORIO, S.; SCOSSA, F.; FERNIE, A. R. Molecular regulation of fruit ripening. *Frontiers in Plant Science*, v. 4, art. 198, 2013.

PADILHA, A., A. **Controle genético do teor de sólidos solúveis e do sabor em tomate**. UEPG, Universidade estadual de Ponta Grossa, 79p., 2019.

POMA, B. A.; SILVA, D. J. H.; MALUF, W. R.; RESENDE, J. T. V.; FARIA, M. V.; NASCIMENTO, I. R.; BENITES, F. R. G. Fruit color and post-harvest shelf life in tomato affected by the ogc, nor A, and rin alleles. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 52, n. 9, p. 743-750, 2017.

QIN, G.; WANG, Y.; CAO, B.; WANG, W.; TIAN, S. Desvendando a rede regulatória do fator de transcrição da caixa MADS RIN em amadurecimento de frutos. **Planta J.**, v. 70, p. 243-255, 2011.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 15 fev. 2026.

RINALDI, M. M.; SANDRI, D.; OLIVEIRA, B. N.; SALES, R. N.; AMARAL, R. D. A. Avaliação da vida útil e de embalagens para tomate de mesa em diferentes condições de armazenamento. **B. CEPPA**, Curitiba, v. 29, n. 2, p. 305-316, 2011.

ROCHA, A. M. C. N. et al. Postharvest quality of tomato fruits. **Postharvest Biology and Technology**, v. 145, p. 38-45, 2018.

RODRIGUEZ, G. R.; PRATTA, G. R.; LIBERATI, D. R.; ZORZOLI, R.; PICARDI, L. A. Inheritance of shelf life and other quality traits of tomato fruit estimated from F1's, F2's and backcross generations derived from standard cultivar, nor homozygote and wild cherry tomato. **Euphytica**, v.176, p.137- 147, 2010.

RONEN, G. et al. An alternative pathway to β -carotene formation in plant chromoplasts discovered by map-based cloning of Beta and old-gold color mutations in tomato. **The Plant Journal**, v. 17, p. 341-351, 2000.

ROOHANITAZIANI, R.; LAMMERS, M.; MOLTHOFF, J.; TIKUNOV, Y.; DEKENS, M. F.; VISSER, R. G. F.; VAN ARKEL, J.; FINKERS, R.; VAN DER MAAGD, R. A.; BOVY, A. G. Phenotyping of a diverse tomato collection for postharvest shelf-life. **Postharvest Biology and Technology**, v. 188, art. 111908, 2022.

ROYCHOUDHURY, A. Ripening Inhibitor (RIN): A master switch in the molecular regulation of ethylene-dependent climacteric fruit ripening. **International Journal of Recent Innovation in Food Science & Nutrition**. 4, 2021.

SANTOS JUNIOR, A. M.; MALUF, W. R.; FARIA, M. V.; ANDRADE JUNIOR, V. C.; NASCIMENTO, I. R.; BENITES, F. R. G.; GOMES, L. A. A. Yield, quality and conservation of heterozygous tomatoes in alcobaça, nonripening and ripening inhibitor loci. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1203-1210, 2005.

SHIN, J.; MILA, I.; LIU, M.; RODRIGUES, M.; VERNOUX, T.; PIRRELLO, J.; BOUZAYEN, M. The RIN-regulated small auxin-up RNA SAUR69 is involved in the unripe-to ripe phase transition of tomato fruit via enhancing sensitivity to ethylene. **New Phytologist**, 222: 820-836, 2019.

SHINOZAKI, Y.; NICOLAS, P.; FERNANDEZ-POZO, N.; MA, Q.; EVANICH, D.J.; SHI, Y.; XU, Y.; ZHENG, Y.; SNYDER, S.I.; MARTIN, L.B.B.; RUIZ-MAY, E.; THANNHAUSER, T.W.; CHEN, K.; DOMOZYCH, D.S.; CATALÁ, C.; FEI, Z.; MUELLER, L.A.; GIOVANNONI, J.J.; ROSE, J.K.C. High-resolution spatiotemporal transcriptome mapping of tomato fruit development and ripening. **Nat Commun**. 2018 Jan 25;9(1):364.

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

THOMPSON, A. E.; TOMES, M. L.; WANN, E. V.; MCCOLLUM, J. P.; STONER, A. K. Characterization of crimson tomato fruit color. **Proceedings of the American Society for**

Horticultural Science, College Park, v. 86, p. 610-616, 1965.

THOMPSON, A. E.; TOMES, M. L.; ERICKSON, H. T.; WANN, E. V.; ARMSTRONG, R. J. Inheritance of crimson fruit color in tomatoes. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, College Park, v. 91, p. 495-504, 1967.

TIEMAN, D.; ZHU, G.; RESENDE, M. F. R.; LIN, T.; NGUYEN, C.; BIES, D.; RAMBA, J. L.; BELTRAN, K. S. O.; TAYLOR, M.; ZHANG, B.; IKEDA, H.; LIU, Z.; FISHER, J.; ZEMACH, I.; MONFORT, A.; ZAMIR, D.; GRANELL, A.; KIRST, M.; HUANG, S.; KLEE, H. A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor. **Plant Science**, v.355, p.391-394, 2017.

TUCKER, M. L.; KIM, J. Abscission research: what we know and what we still need to study. **Tewart Postharvest Review**, v. 2, p. 7, 2015.

VREBALOV, J.; RUENZINSKY, D.; PADMANABHAN, V.; WHITE, R.; MEDRANO, D.; DRAKE, R.; SCHUCH, W.; GIOVANNONI, J. A MADS-box gene necessary for fruit ripening at the tomato ripening-inhibitor (rin) locus. **Science**. 2002 Apr 12;296(5566):343-6.

WANG, R.; LAMMERS, M.; TIKUNOV, Y.; BOVY, A.G.; ANGENENT, G.C.; DE MAAGD, R.A. The rin, nor and Cnr spontaneous mutations inhibit tomato fruit ripening in additive and epistatic manners. **Plant Sci**. 2020 May, 294:110436.

ZHU, F.; JADHAV, S. S.; TOHGE, T.; SALEM, M. A.; LEE, M. J.; GIOVANNONI, J. J.; CHENG, Y.; ALSEEKH, S.; FERNIE, A. R. A comparative transcriptomics and eQTL approach identifies SIWD40 as a tomato fruit ripening regulator. **Plant Physiology**, v. 190, n. 1, p. 250-266, 2022.

ANEXOS

ANEXO A - ANÁLISE DE SOLO

PÁG. 1/2

RELATÓRIO DE ENSAIO AGRÔNOMICO:
QUÍMICA DE SOLO

SOLICITANTE GABRIELLA CORREIA GOMES

DATA COLETA ***

PROPRIETÁRIO GABRIELLA CORREIA GOMES

DATA ENTRADA 17/10/2024

PROPRIEDADE UEL

DATA SAÍDA 22/10/2024

TALHÃO ESTUFA BAIXO

PROFUNDIDADE 00-20CM

CÓD. LAB. 99208/669088

MUNICÍPIO/UF LONDRINA-PR

ID AMOSTRA (00-20CM)

PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS

DETERMINAÇÃO	cmol/dm ³	DETERMINAÇÃO	TEOR
CTC (pH 7,0)	22,25	Matéria Orgânica (M.O.S)	g/dm ³ ***
CTC (efetiva)	20,22	Fósforo Remanescente (P-Rem.)	mg/L ***
CTC (determinada)	***		

REAÇÃO DO SOLO

DETERMINAÇÃO	ÍNDICE	DETERMINAÇÃO	cmol/dm ³
pH em CaCl ₂	6,31	Acidez Potencial (H ⁺ + Al)	2,03
pH em H ₂ O	6,79	Acidez Não Trocável (H ⁺)	2,03
pH em SMP	7,20	Acidez Trocável (Al ³⁺)	N.D.

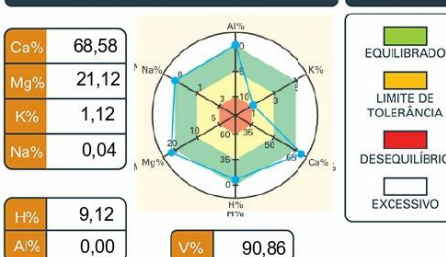
MACRONUTRIENTES CATIÔNICOS

NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

ELEMENTOS	cmol/dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Cálcio (Ca ²⁺)	15,26			
Magnésio (Mg ²⁺)	4,70			
Potássio (K ⁺)	0,25			
Sódio (Na ⁺)	0,01			

ÍNDICES DE SATURAÇÃO

LEGENDA



MACRONUTRIENTES ANIÔNICOS

NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

ELEMENTOS	mg/dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Fósforo Mehlich 1	185,74			
Fósforo Mehlich 3	259,33			
Enxofre (SO ₄ ²⁻)	***			

RESTITUIÇÃO DO EQUILÍBRIO DA SATURAÇÃO

Bases Trocáveis	MÍNIMO cmol/dm ³	MÁXIMO cmol/dm ³
Cálcio (Ca ²⁺)	0,00	0,00
Magnésio (Mg ²⁺)	0,00	0,00
Potássio (K ⁺)	0,42	0,86

MICRONUTRIENTES

NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

ELEMENTOS	mg/dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Boro (B)	***			
Cobre (Cu ²⁺)	18,12			
Ferro (Fe ²⁺)	222,32			
Manganês (Mn ²⁺)	311,68			
Zinco (Zn ²⁺)	36,68			

CAPACIDADE TAMPÃO - NÍVEL CRÍTICO

mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
***	***	***
Fósforo	Enxofre	Zinco

VALORES RELATIVOS

NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

PARÂMETRO	%	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Fósforo Mehlich 1	***			
Enxofre (SO ₄ ²⁻)	***			
Zinco (Zn ²⁺)	***			

N.D. NÃO DETECTADO. *** ENSAIO NÃO SOLICITADO. RG, 096 REV 04



Laborsolo Laboratórios - Av. Tiradentes, 1770 - Rodocentro, Londrina - PR, 86071-000
OBS: ESTE RELATÓRIO REPRESENTA A AMOSTRA ENTREGUE AO LABORATÓRIO E IDENTIFICADA PELO INTERESSADO.

Alessandre Durães
Gerente Técnico

Juliane Araújo
Gerente da Qualidade

Carlos Eduardo de C. Almeida
Eng.º Agrônomo | CREA-PR 127660/D