

Produção, qualidade e conservação de tomates heterozigotos nos locos *alcobaça*, *nonripening* e *ripening inhibitor*

Alcides Militão dos Santos Júnior⁽¹⁾, Wilson Roberto Maluf⁽²⁾, Marcos Ventura Faria⁽³⁾, Valter Carvalho de Andrade Júnior⁽⁴⁾, Ildon Rodrigues do Nascimento⁽⁵⁾, Flávio Rodrigo Gandolfi Benites⁽⁵⁾ e Luiz Antônio Augusto Gomes⁽²⁾

⁽¹⁾Centro Federal de Educação Tecnológica de Petrolina, Rod. BR 235, Km 22, CEP 56302-970 Petrolina, PE ⁽²⁾Universidade Federal de Lavras (UFLA), Dep. de Agricultura, Caixa Postal 35, CEP 37200-000 Lavras, MG. E-mail: wrmaluf@ufla.br ⁽³⁾Universidade Estadual do Centro-Oeste, Dep. de Agronomia, Centro Politécnico, Rua Simeão Camargo Varela de Sá, nº 3, CEP 85040-080 Guarapuava, PR. E-mail: mfaría@unicentro.br ⁽⁴⁾Faculdades Federais Integradas de Diamantina, Dep. de Agronomia, Rua da Glória, nº 187, Campus I, CEP 39100-000 Diamantina, MG. E-mail: valterjr@fafeid.edu.br ⁽⁵⁾UFLA, Dep. de Biologia. E-mail: nascimento_ildon@yahoo.com.br, frgbenites@yahoo.com.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos de produtividade, qualidade e conservação pós-colheita de tomates, para comparar os efeitos promovidos pelos alelos *alcobaça* (*nor^A*), *nonripening* (*nor*) e *ripening inhibitor* (*rin*) em heterozigose, isoladamente ou em duplas combinações, sobre frutos de tomateiros híbridos. Foram avaliados dez tratamentos: sete híbridos experimentais quase-isogênicos, com *background* FloraDade x Tropic de genótipos *nor⁺/nor^A*, *rin⁺/rin*, *nor⁺/nor*, *nor/nor^A*, *nor⁺/nor^A rin⁺/rin* e *nor⁺/nor rin⁺/rin*; e três testemunhas comerciais (FloraDade, Tropic e Carmen F₁). Contrariamente aos genótipos *rin⁺/rin* e *nor⁺/nor*, o genótipo *nor⁺/nor^A* não prolongou, significativamente, a firmeza dos frutos em pós-colheita. Os genótipos duplo-mutantes *nor^A/nor*, *nor⁺/nor^A rin⁺/rin* e *nor⁺/nor rin⁺/rin* foram eficientes em atrasar a perda de firmeza e a evolução da coloração dos frutos; os efeitos dos locos *nor⁺/nor^A* e *rin⁺/rin*, juntos, sofreram desvios significativos em relação à soma dos efeitos desses locos, quando atuaram separadamente, no sentido de intensificarem esses atrasos. O uso de híbridos heterozigotos, nas duplas combinações entre os locos *nor^A*, *nor* e *rin*, mostrou-se vantajoso por propiciar frutos firmes, com maior extensão da vida pós-colheita, em comparação com o uso dos híbridos portadores desses locos isoladamente. A qualidade dos frutos duplo-mutantes não foi limitada pelo atraso na evolução da coloração vermelha.

Termos para indexação: *Lycopersicon esculentum*, firmeza de frutos, melhoramento genético, mutantes de amadurecimento, tomate longa-vida.

Yield, quality and conservation of heterozygous tomatoes in *alcobaça*, *nonripening* and *ripening inhibitor* loci

Abstract – The objective of this work was to evaluate yield, quality and postharvest conservation of tomatoes, to compare the effects promoted by the *alcobaça* (*nor^A*), *nonripening* (*nor*) and *ripening inhibitor* (*rin*) alleles, in heterozygosis, singly or in double combinations on hybrid tomato fruits. Ten treatments were evaluated: seven experimental nearly isogenic hybrids of FloraDade x Tropic background or reciprocal with *nor⁺/nor^A*, *rin⁺/rin*, *nor⁺/nor*, *nor/nor^A*, *nor⁺/nor^A rin⁺/rin* and *nor⁺/nor rin⁺/rin* genotypes, and three commercial checks (FloraDade, Tropic and Carmen F₁). Oppositely to the genotypes *rin⁺/rin* and *nor⁺/nor*, the genotype *nor⁺/nor^A* did not significantly extend the firmness of the fruits in postharvest. The double mutant genotypes *nor^A/nor*, *nor⁺/nor^A rin⁺/rin* and *nor⁺/nor rin⁺/rin* were efficient in delaying firmness loss and the evolution of fruits colouring; the effects of loci *nor⁺/nor^A* and *rin⁺/rin*, together, underwent significant deviations relatively to the sum of these loci effects, when acting singly, in the sense of enhancing those delays. Use of heterozygous hybrids in the double combinations among loci *nor^A*, *nor* and *rin* proved advantageous for providing firm fruits with a longer postharvest lifetime, as compared with the hybrids carrying these loci singly. The quality of double mutant fruits was not restricted by the delay in the evolution of red coloration.

Index terms: *Lycopersicon esculentum*, fruit firmness, plant breeding, ripening mutants, long shelf life tomato.

Introdução

Uma estratégia para prolongar a vida pós-colheita dos frutos de tomate é o emprego de alelos mutantes de maturação, que retardam o amadurecimento, prolongam o período de conservação e interferem, principalmente, na firmeza e na síntese de pigmentos carotenóides (Kopeliovitch et al., 1979; Araújo et al., 2002; Santos Junior, 2002; Andrade-Júnior, 2003; Faria et al., 2003).

O mutante *ripening inhibitor* (*rin*) localiza-se no cromossomo 5, e os mutantes *nonripening* (*nor*) e *alcobaça* (*nor^A*) localizam-se no cromossomo 10, do genoma do tomateiro; *rin* está ligado em atração ao alelo *macrocalyx* (*mc*), que confere a formação de um cálice maior, enquanto *nor* está ligado, em repulsão, a 3,5 cM do alelo *uniform ripening* (*u*), que confere maturação uniforme dos frutos (Tigchelaar et al., 1978). Ambos os mutantes promovem redução na síntese de carotenóides (Sink et al., 1974; Tigchelaar et al., 1978), retardam o amolecimento e aumentam a conservação pós-colheita dos frutos. Entretanto, em heterozigose, tais efeitos diminuem (Buescher & Tigchelaar, 1975; Tigchelaar et al., 1978; Kopeliovitch et al., 1979). Segundo Tigchelaar et al. (1978), os frutos de tomateiros mutantes homozigotos *rin/rin* apresentam amadurecimento do tipo não-climatérico, o que implica a paralisação do amadurecimento, quando colhidos na fase inicial de maturação, e a ausência de resposta à aplicação de etileno exógeno.

O mutante *alcobaça* controla um padrão atípico de amadurecimento nos frutos (Lobo, 1981; Lobo et al., 1984; Mutschler, 1984a, 1984b), retarda o amolecimento e permite o aumento do período de armazenamento (Lobo, 1981; Mutschler, 1984b; Freitas et al., 1998; Vilas Boas et al., 1999; Araújo et al., 2002; Faria et al., 2003). Testes de alelismo realizados por Lobo (1981) e confirmados por Benites (2003), demonstraram que *alcobaça* é um mutante não alélico a *rin*, porém, alélico a *nor*, constitui-se num terceiro alelo do loco *nor* e recebe a denominação de *nor^A*.

Os relatos na literatura que descrevem e comparam os efeitos dos alelos *nor^A*, *nor* e *rin*, em atuação conjunta, em um mesmo genótipo, são poucos e recentes (Santos Junior, 2002; Andrade-Júnior, 2003; Benites, 2003).

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos das combinações genotípicas heterozigotas, entre os

alelos *nor^A*, *nor* e *rin*, sobre a produção e a qualidade pós-colheita de frutos de tomateiro, visando o desenvolvimento de híbridos com prolongada vida de prateleira.

Material e Métodos

Foram obtidos sete híbridos experimentais de tomateiro de *background* FloraDade x Tropic ou recíproco, a partir de cruzamentos entre linhagens utilizadas como genitores femininos [FloraDade (*nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺*), TOM-613 (*nor/nor rin⁺/rin⁺*), TOM-610 (*nor^A/nor^A rin⁺/rin⁺*) e TOM-619 (*nor⁺/nor⁺ rin/rin*)] e linhagens utilizadas como fonte de pólen [Tropic (*nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺*), FloraDade (*nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺*), TOM-610 (*nor^A/nor^A rin⁺/rin⁺*), TOM-559 (*nor^A/nor^A rin⁺/rin⁺*) e TOM-613 (*nor/nor rin⁺/rin⁺*)]. Os sete híbridos representam, além do *background* normal [F₁ (FloraDade x Tropic)], suas versões quase-isogênicas *nor⁺/nor^A*, *nor⁺/nor*, *rin⁺/rin*, *nor^A/nor*, *nor⁺/nor^A rin⁺/rin* e *nor⁺/nor rin⁺/rin*. Os sete híbridos experimentais, juntamente com as linhagens parentais FloraDade e Tropic, mais o híbrido comercial Carmen F₁ (*rin⁺/rin*) constituíram os dez tratamentos avaliados.

O experimento foi conduzido em estufa de plástico, na HortiAgro Sementes Ltda., no Município de Ijaci, MG, de dezembro de 2000 a abril de 2001. Foi empregado o delineamento em blocos ao acaso, com seis repetições. Cada parcela foi composta de uma fileira com oito plantas espaçadas em 0,8 m. As plantas foram conduzidas com uma haste e podadas acima do quinto cacho. Na ocasião da antese, as flores foram marcadas, com a finalidade de se determinar o número de dias entre a antese e o ponto de colheita, no estágio *breaker* de maturação, determinado pelo início de coloração avermelhada na região da cicatriz estilar do fruto. Foram realizadas 16 colheitas durante um período de 38 dias. Avaliou-se a produção total (t ha⁻¹), produção precoce (produção das cinco primeiras colheitas, em t ha⁻¹), massa média por fruto (g por fruto), e o número médio de dias desde a antese ao estágio *breaker* de maturação (ponto de colheita).

Amostras de oito frutos, por parcela, foram colhidas no estágio *breaker* e armazenadas em prateleiras, em sala com ambiente controlado (15°C e 60% de umidade relativa), na Universidade Federal de Lavras. Os frutos foram avaliados quanto à taxa de perda de firmeza e evolução da coloração externa vermelha, durante o período de armazenamento. A firmeza (N m⁻²) foi medida na superfície equatorial de cada fruto, individualmente,

por meio da técnica de aplanção não-destrutiva, descrita por Calbo & Nery (1995). As leituras da firmeza foram obtidas no estágio *breaker* de amadurecimento (dia zero) e a intervalos de dois dias, até o 18º dia após a colheita. Os mesmos frutos amostrados receberam notas, diariamente, com base em uma escala que variou de 1 a 5, conforme a porcentagem de coloração vermelha na superfície de cada fruto. A porcentagem de coloração da superfície, no dia zero (estádio *breaker*), recebeu a nota 1. As notas 2, 3, 4 e 5 corresponderam às porcentagens de coloração da superfície dos frutos entre 20% e 40%, 41% e 60%, 61% e 80% e 81% e 100%, respectivamente.

Foram ajustados modelos de regressão não-linear para a taxa de perda de firmeza e do desenvolvimento da coloração vermelha externa dos frutos, durante o período de armazenamento. O comportamento da perda da firmeza dos frutos foi ajustado a um modelo de decaimento exponencial, que foi empregado para se estimar a firmeza inicial dos frutos (no estágio *breaker*), a meia-vida da firmeza (tempo em pós-colheita que o fruto leva para reduzir à metade sua firmeza, em relação à inicial) e o número de dias decorridos para os frutos atingirem a firmeza crítica de 2.10^4 N m^{-2} .

A meia-vida de firmeza (T) foi obtida por meio da regressão dos dados de firmeza (A) de cada parcela, no número de dias decorridos (X), pelo modelo estatístico: $A = A_0(1/2)^{X/T}$, em que A_0 é a firmeza (N m^{-2}) inicial dos frutos, no estágio *breaker* (dia 0); X é o número de dias decorridos após colheita, no estágio *breaker*; T é a meia-vida da firmeza (medida em dias); A é a firmeza (N m^{-2}) depois de X dias. As regressões foram calculadas com o recurso do pacote estatístico SAS (*Statistical Analysis System*), utilizando-se, para o modelo de decaimento exponencial, a transformação logarítmica seguida de regressão linear.

O modelo logístico $Y = A/(1 + B \times R^X)$ foi ajustado às notas da evolução da coloração vermelha externa dos frutos (X é número de dias após a colheita; Y é a nota de coloração dos frutos; A, B e R são parâmetros do modelo). O número médio de dias decorridos a partir da colheita, para que os frutos atingissem a nota 5 de coloração, foi estimado a partir da curva ajustada.

Amostras adicionais de frutos, de cada parcela, foram empregadas para a quantificação dos teores de clorofila total e pigmentos carotenóides, em três diferentes estádios de maturação: *breaker*, intermediário e com-

pletamente maduro, correspondentes às notas externas de coloração 1, 3 e 5, respectivamente. Os teores de clorofila total foram determinados segundo Bruinsma (1963), e os resultados foram expressos em mg por 100 g de polpa. A quantificação dos teores de pigmentos carotenóides (licopeno e beta-caroteno), expressos em mg por 100 g de polpa, foi determinada segundo Nagata & Yamashita (1992). Os valores médios, referentes aos teores de pigmentos carotenóides e clorofila, foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

Para todos os caracteres, foram calculados contrastes não-ortogonais de interesse, entre os pares de híbridos, para avaliar os efeitos isolados dos alelos *nor*, *nor^A* e *rin*, em heterozigose, bem como os efeitos das duplas combinações heterozigóticas entre esses locos. Foram calculados, também, contrastes para avaliar a não-aditividade entre os efeitos dos locos em questão, dois a dois. A não-aditividade dos efeitos de cada dois alelos mutantes, em heterozigose, corresponde ao desvio do genótipo portador da dupla combinação entre esses alelos, relativamente à soma dos seus efeitos isoladamente.

Resultados e Discussão

Entre os híbridos de *background* FloraDade x Tropic, o de genótipo *rin⁺/rin* apresentou redução significativa da produção total de frutos. Houve efeito negativo do alelo *nor*, sobre a produção total de frutos, somente em combinações com *nor^A* ou *rin* heterozigotos (Tabela 1). O genótipo *nor⁺/nor^A* não teve a produtividade total de frutos afetada, o que concorda com os resultados relatados por Freitas et al. (1998) e Faria et al. (2003) em híbridos com *backgrounds* distintos.

Os genótipos *nor⁺/nor^A*, *rin⁺/rin* e *nor⁺/nor* apresentaram redução significativa na produção precoce, no *background* FloraDade x Tropic (Tabela 1), tendo refletido o efeito dos alelos mutantes, mesmo em heterozigose, no sentido de retardar o início do estágio *breaker*. No entanto, a produção precoce é afetada não somente pelos mutantes de amadurecimento, mas também pelo *background*, uma vez que o híbrido comercial Carmen F₁ (*rin⁺/rin*) obteve maior produção precoce do que o híbrido experimental *rin⁺/rin* F₁ (TOM-619 x FloraDade) (Tabela 1).

Os genótipos *nor⁺/nor* e *nor⁺/nor^A rin⁺/rin* atuaram no sentido de reduzir ligeiramente a massa média de frutos, em relação ao genótipo normal (Tabela 1). O alelo *nor^A* em heterozigose não afetou a massa média de frutos, o que concorda com os resultados encontrados por Mutschler (1992), Freitas et al. (1998), Souza et al. (2001), Dias et al. (2003) e Faria et al. (2003). Da mesma forma, os frutos de genótipo *rin⁺/rin* não tiveram massa média alterada em relação ao genótipo normal (Tabela 1). Foi verificada ausência de heterose para maior peso de frutos, concordando com o que tem sido relatado por outros autores (Maluf et al., 1982; Faria et al., 2003).

Não foi detectado efeito significativo do genótipo *nor⁺/nor^A* sobre o período de permanência dos frutos na planta até o estágio *breaker*; resultado semelhante foi relatado por Faria et al. (2003). Os alelos *nor* e *rin*, isoladamente em heterozigose, não afetaram essa característica, entretanto, quando em duplas combinações heterozigotas (*nor^A/nor*, *nor⁺/nor^A rin⁺/rin* e *nor⁺/nor*

rin⁺/rin) promoveram aumento significativo na permanência dos frutos na planta em 3,5 dias, 2,2 dias e 2,4 dias, respectivamente (Tabela 1). O contraste que mede a não-aditividade entre os alelos *nor* e *nor^A* foi significativo. Portanto, esses alelos, juntos no mesmo genótipo (*nor^A/nor*), atuaram de forma mais acentuada, aumentando em cerca de três dias o período da antese ao estágio *breaker* de maturação dos frutos, em relação à soma dos seus efeitos individuais (Tabela 1).

Não houve diferenças significativas entre os híbridos experimentais quanto à firmeza inicial dos frutos (Tabela 2). A meia-vida da firmeza dos frutos foi aumentada de modo significativo, em 1,6 e 2,2 dias, respectivamente, pelos mutantes de amadurecimento *nor* e *rin*, em heterozigose, que atuaram isoladamente (Tabela 2). As duplas combinações heterozigóticas entre os alelos *nor^A*, *nor* e *rin* atuaram no sentido de prolongar a meia-vida da firmeza dos frutos, em relação aos efeitos individuais dos alelos em heterozigose. Os frutos de genótipos *nor^A/nor*, *nor⁺/nor^A rin⁺/rin* e *nor⁺/nor rin⁺/rin* tiveram suas meias-vidas aumentadas em 2,4 dias, 3,3 dias e 3,4 dias, respectivamente, em comparação aos frutos normais (Tabela 2). Os contrastes que medem a

Tabela 1. Valores médios da produção total (t ha⁻¹), produção precoce (t ha⁻¹), massa média por fruto (g por fruto), período médio da antese ao estágio *breaker* (dias) e contrastes não-ortogonais de interesse entre dez genótipos de tomateiro⁽¹⁾.

Tratamento	Genótipo	Produção total	Produção precoce	Massa por fruto	Período da antese ao estágio <i>breaker</i>
T1 - FloraDade	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i> (= normal)	65,61ab	16,28b	169,63cd	44,97de
T2 - Tropic	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i> (= normal)	65,74ab	13,85b	225,95a	47,68abc
T3 - F ₁ (FloraDade x Tropic)	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i> (= normal)	65,68ab	17,18b	211,95ab	45,38cde
T4 - F ₁ (TOM -610 x FloraDade)	<i>nor⁺/nor^A rin⁺/rin⁺</i>	63,11ab	12,05bc	192,62abc	45,12de
T5 - F ₁ (TOM -613 x Tropic)	<i>nor⁺/nor rin⁺/rin⁺</i>	58,62b	11,90bc	189,77bc	46,13bcde
T6 - F ₁ (TOM -619 x FloraDade)	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin</i>	46,96b	6,34cd	192,55abc	46,72abcd
T7 - F ₁ (TOM -613 x TOM -610)	<i>nor^A/nor rin⁺/rin⁺</i>	45,46b	3,37d	197,83abc	48,88a
T8 - F ₁ (TOM -619 x TOM -559)	<i>nor⁺/nor^A rin⁺/rin</i>	59,64b	5,63cd	187,48bc	47,60abc
T9 - F ₁ (TOM -619 x TOM -613)	<i>nor⁺/nor rin⁺/rin</i>	48,85b	5,46cd	191,35abc	47,77ab
T10 - Carmen F ₁	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin</i>	83,51a	24,74a	143,90d	44,38e
Contraste de interesse	Efeito avaliado	----- Estimativas dos contrastes -----			
T1 - T2	FloraDade x Tropic	-0,135	2,425	-56,317**	-2,72**
T3 - [0,5 (T1 + T2)]	Heterose no <i>background</i> normal	0,008	2,093	14,158	-0,94
T4 - T3	Apenas <i>nor⁺/nor^A</i>	-2,570	-5,108*	-19,333	-0,27
T5 - T3	Apenas <i>nor⁺/nor</i>	-7,058	-5,255*	-22,183*	0,75
T6 - T3	Apenas <i>rin⁺/rin</i>	-18,722**	-10,815**	-19,400	1,33
T7 - T3	Dupla combinação <i>nor^A/nor</i>	-20,220**	-13,785**	-14,117	3,50**
T8 - T3	Dupla combinação <i>nor⁺/nor^A rin⁺/rin</i>	-6,045	-11,503**	-24,467*	2,22**
T9 - T3	Dupla combinação <i>nor⁺/nor rin⁺/rin</i>	-16,830**	-11,701**	-20,600	2,38**
T7 + T3 - T5 - T4	Não-aditividade entre <i>nor⁺/nor^A</i> e <i>nor⁺/nor</i>	-10,591	-3,421	27,400	3,02**
T8 + T3 - T4 - T6	Não-aditividade entre <i>nor⁺/nor^A</i> e <i>rin⁺/rin</i>	15,246	4,420	14,267	1,15
T9 + T3 - T5 - T6	Não-aditividade entre <i>nor⁺/nor</i> e <i>rin⁺/rin</i>	8,950	4,368	20,983	0,30

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * e **Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

não-aditividade entre os alelos em heterozigose (nor^A e nor), (nor^A e rin) e (nor e rin) tiveram suas estimativas não significativas para firmeza inicial e meia-vida da firmeza (Tabela 2), o que indica que os efeitos desses locos se somam, quando combinados em um mesmo genótipo.

Quanto ao número de dias decorridos, desde a colheita até os frutos atingirem a firmeza crítica de $2 \times 10^4 \text{ N m}^{-2}$, o híbrido de genótipo nor^+/nor^A não diferiu, significativamente, do genótipo normal nor^+/nor^+ (Tabela 2). Esse resultado discorda dos trabalhos de Vilas Boas et al. (1999), Souza et al. (2001), Dias et al. (2003) e Faria et al. (2003), que relataram aumento no tempo de vida pós-colheita dos frutos nor^+/nor^A , embora tenham utilizado *backgrounds* distintos do empregado nesse trabalho. Os genótipos nor^+/nor e rin^+/rin isolados apresentaram efeitos significativos, tendo aumentado em 2 dias e 1,7 dia, respectivamente, o período para que os frutos atingissem a firmeza de $2 \times 10^4 \text{ N m}^{-2}$ (Tabela 2).

O *background* do híbrido comercial Carmen F₁ foi responsável pelo atraso na perda de firmeza dos frutos, em relação ao *background* híbrido FloraDade x Tropic (Tabela 2). Assim, confirma-se que a característica longa-vida de um híbrido é devida não somente à utilização do mutante de amadurecimento, mas também a um *background* genotípico que favorece maior firmeza dos frutos.

Houve efeitos significativos favoráveis das duplas combinações heterozigotas, entre os alelos nor^A , nor e rin , em desacelerar a perda de firmeza dos frutos (Tabela 2). A dupla combinação nor^+/nor^A rin^+/rin apresentou desvios no seu comportamento, em relação à soma dos seus efeitos individuais, conforme acusa a estimativa do contraste que avalia a não-aditividade dos efeitos entre esses locos: o desvio observado foi de 3,5 dias, para os frutos terem sua firmeza reduzida a $2 \times 10^4 \text{ N m}^{-2}$ (Tabela 2). Não foi verificado efeito significativo da heterose no *background* normal

Tabela 2. Valores médios (10^4 N m^{-2}) da firmeza dos frutos no estágio *breaker* de amadurecimento, meia-vida (dias) da firmeza, período (dias) para os frutos atingirem firmeza crítica de $2 \times 10^4 \text{ N m}^{-2}$, período médio (dias) estimado, após a colheita no estágio *breaker*, para os frutos atingirem nota 5 de coloração e contrastes não-ortogonais de interesse entre dez genótipos de tomateiro⁽¹⁾.

Tratamento	Genótipo	Firmeza dos frutos no estágio <i>breaker</i>	Meia-vida da firmeza	Período para atingir firmeza crítica	Período para atingir nota 5 de coloração
T1 - FloraDade	nor^+/nor^+ rin^+/rin^+ (= normal)	5,197ab	9,4cde	12,9cde	7,3c
T2 - Tropic	nor^+/nor^+ rin^+/rin^+ (= normal)	3,903C	9,6bcde	9,0f	7,0c
T3 - F ₁ (FloraDade x Tropic)	nor^+/nor^+ rin^+/rin^+ (= normal)	4,831b	8,7e	11,1def	7,0c
T4 - F ₁ (TOM -610 x FloraDade)	nor^+/nor^A rin^+/rin^+	4,605bc	9,0de	10,7ef	7,3c
T5 - F ₁ (TOM -613 x Tropic)	nor^+/nor rin^+/rin^+	4,817b	10,4abcde	13,1cd	9,3abc
T6 - F ₁ (TOM -619 x FloraDade)	nor^+/nor^+ rin^+/rin	4,497bc	10,9abcd	12,7cde	8,0bc
T7 - F ₁ (TOM -613 x TOM -610)	nor^A/nor rin^+/rin^+	4,633bc	11,1abc	13,4cd	11,5ab
T8 - F ₁ (TOM -619 x TOM -559)	nor^+/nor^A rin^+/rin	4,993b	12,1a	15,9ab	12,5a
T9 - F ₁ (TOM -619 x TOM -613)	nor^+/nor rin^+/rin	4,737bc	12,2a	14,8bc	12,8a
T10 - Carmen F ₁	nor^+/nor^+ rin^+/rin	5,883a	11,5ab	17,7a	7,8c
Contraste de interesse	Efeito avaliado	----- Estimativas dos contrastes -----			
T1 - T2	FloraDade x Tropic	1,293**	-0,1	3,9**	0,3
T3 - [0,5 (T1 + T2)]	Heterose no <i>background</i> normal	0,282	-0,8	0,2	-0,2
T4 - T3	Apenas nor^+/nor^A	-0,227	0,2	-0,4	0,3
T5 - T3	Apenas nor^+/nor	-0,015	1,6**	2,0**	2,3*
T6 - T3	Apenas rin^+/rin	0,335	2,2**	1,7*	1,0
T7 - T3	Dupla combinação nor^A/nor	-0,198	2,4**	2,3**	4,5**
T8 - T3	Dupla combinação nor^+/nor^A rin^+/rin	0,162	3,3**	4,8**	5,5**
T9 - T3	Dupla combinação nor^+/nor rin^+/rin	0,095	3,4**	3,8**	5,8**
T7 + T3 - T5 - T4	Não-aditividade entre nor^+/nor^A e nor^+/nor	0,043	0,6	0,7	1,8
T8 + T3 - T4 - T6	Não-aditividade entre nor^+/nor^A e rin^+/rin	0,723	0,9	3,5**	4,2*
T9 + T3 - T5 - T6	Não-aditividade entre nor^+/nor e rin^+/rin	0,255	-0,4	0,1	2,5

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * e **Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

FloraDade x Tropic, para as características relacionadas à firmeza dos frutos.

De maneira geral, os alelos *nor^A*, *nor* e *rin*, isoladamente ou em duplas combinações heterozigóticas, atuaram para atrasar a síntese de pigmentos dos frutos (Tabela 2). O genótipo *nor⁺/nor*, quando comparado ao genótipo isogênico normal, apresentou efeito mais drástico sobre a evolução da coloração dos frutos, tendo promovido atraso médio significativo de 2,3 dias, para que os frutos atingissem o valor 5 na escala de notas. Os efeitos dos alelos *nor^A* ou *rin* foram potencializados, quando em combinações entre si e com *nor* (Tabela 2). Freitas et al. (1998), Souza et al. (2001), Araújo et al. (2002), e Faria et al. (2003), ao utilizar *backgrounds* distintos do utilizado neste trabalho, relataram que o mutante *nor^A* em heterozigose, isoladamente, foi res-

ponsável pela evolução mais lenta da coloração dos frutos.

A estimativa do contraste que avalia a não-aditividade, entre os efeitos dos locos *nor⁺/nor^A* e *rin⁺/rin*, acusou um atraso significativo de 4,2 dias do duplo heterozigoto *nor⁺/nor^A rin⁺/rin*, em relação à soma dos efeitos individuais desses locos, para que os frutos atingissem a nota 5 de coloração (Tabela 2). As estimativas do contraste que avalia a não-aditividade entre os efeitos de *nor⁺/nor* e *nor⁺/nor^A* foi não significativa, o que indica que os efeitos desses locos, quando combinados em um mesmo genótipo, não apresentaram desvios significativos sobre essa característica, em relação à soma dos efeitos individuais desses locos.

Com o avanço do processo de amadurecimento, constatou-se redução no teor de clorofila, concomitante ao aumento no teor de licopeno e beta-caroteno (Tabela 3).

Tabela 3. Teores médios (mg 100 g⁻¹) de clorofila, licopeno e beta-caroteno, dos frutos de dez genótipos de tomateiro, em três estádios de amadurecimento⁽¹⁾.

Tratamento	Estádio de amadurecimento	Genótipo	Clorofila	Licopeno	Beta-caroteno
T1 - FloraDade	Breaker	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i> (= normal)	1,52bcde	57,89hij	54,50ijklm
T2 - Tropic	Breaker	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i> (= normal)	1,51bcde	31,89hij	50,93klm
T3 - F ₁ (FloraDade x Tropic)	Breaker	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i> (= normal)	1,98a	30,23hij	55,00hijkl
T4 - F ₁ (TOM -610 x FloraDade)	Breaker	<i>nor⁺/nor^A rin⁺/rin⁺</i>	1,52bcde	23,03ij	51,95ijklm
T5 - F ₁ (TOM -613 x Tropic)	Breaker	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i>	1,32defg	24,92hij	57,90fghijkl
T6 - F ₁ (TOM -619 x FloraDade)	Breaker	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i>	1,83ab	23,70ij	42,04m
T7 - F ₁ (TOM -613 x TOM -610)	Breaker	<i>nor^A/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i>	1,67abc	28,18hij	61,87efghijk
T8 - F ₁ (TOM -619 x TOM -559)	Breaker	<i>nor⁺/nor^A rin⁺/rin⁺</i>	1,59bcd	20,28j	57,08ghijkl
T9 - F ₁ (TOM -619 x TOM -613)	Breaker	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i>	1,44cdef	19,84j	56,73ghijkl
T10 - Carmen F ₁	Breaker	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i>	1,52bcde	32,98hij	46,93lm
T1 - FloraDade	Intermediário	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i> (= normal)	1,24efgh	106,46fgh	71,57bcde
T2 - Tropic	Intermediário	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i> (= normal)	1,12fghi	91,01ghij	67,42cdefgh
T3 - F ₁ (FloraDade x Tropic)	Intermediário	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i> (= normal)	1,13fghi	105,04fghi	64,93defghi
T4 - F ₁ (TOM -610 x FloraDade)	Intermediário	<i>nor⁺/nor^A rin⁺/rin⁺</i>	1,01ghij	71,73hij	67,95cdefg
T5 - F ₁ (TOM -613 x Tropic)	Intermediário	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i>	0,74jkl	68,22hij	63,06defghijk
T6 - F ₁ (TOM -619 x FloraDade)	Intermediário	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i>	1,13fgh	75,14hij	67,82cdefgh
T7 - F ₁ (TOM -613 x TOM -610)	Intermediário	<i>nor^A/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i>	0,76jkl	63,71hij	68,74cdefg
T8 - F ₁ (TOM -619 x TOM -559)	Intermediário	<i>nor⁺/nor^A rin⁺/rin⁺</i>	1,02ghij	76,30hij	65,69defghi
T9 - F ₁ (TOM -619 x TOM -613)	Intermediário	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i>	0,89hijk	75,47hij	64,39defghij
T10 - Carmen F ₁	Intermediário	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i>	1,12fghi	90,93ghij	70,42bcdef
T1 - FloraDade	Maduro	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i> (= normal)	0,60kl	430,16a	70,20bcdef
T2 - Tropic	Maduro	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i> (= normal)	0,78jkl	329,37bc	71,33bcde
T3 - F ₁ (FloraDade x Tropic)	Maduro	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i> (= normal)	0,48l	329,37bc	74,61abcde
T4 - F ₁ (TOM -610 x FloraDade)	Maduro	<i>nor⁺/nor^A rin⁺/rin⁺</i>	0,60kl	360,80ab	84,43a
T5 - F ₁ (TOM -613 x Tropic)	Maduro	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i>	0,61kl	314,88bc	75,86abcd
T6 - F ₁ (TOM -619 x FloraDade)	Maduro	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i>	0,79ijkl	166,40efg	73,19abcde
T7 - F ₁ (TOM -613 x TOM -610)	Maduro	<i>nor^A/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i>	0,73jkl	267,18cd	82,87ab
T8 - F ₁ (TOM -619 x TOM -559)	Maduro	<i>nor⁺/nor^A rin⁺/rin⁺</i>	0,66kl	272,68cd	74,70abcd
T9 - F ₁ (TOM -619 x TOM -619)	Maduro	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i>	0,52l	181,32ef	80,16abc
T10 - Carmen F ₁	Maduro	<i>nor⁺/nor⁺ rin⁺/rin⁺</i>	0,70jkl	223,96de	66,51defghi

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Esse resultado concorda com os obtidos por Vilas Boas et al. (1999). Os alelos mutantes em heterozigose, isoladamente ou em combinações duplas, tenderam a reduzir o teor de clorofila dos frutos nos estádios *breaker* e intermediário de maturação (Tabelas 3 e 4), entretanto, esse fato foi revertido no estágio maduro. Nessa fase, nos frutos portadores dos alelos mutantes, a clorofila apresentou teores mais altos e, conseqüentemente, a síntese de licopeno ainda não havia atingido seu ápice. O resultado foi o atraso na pigmentação dos frutos.

Notou-se uma tendência dos alelos mutantes em heterozigose, isoladamente ou em combinações duplas, em reduzir o teor de licopeno nos frutos (Tabela 4), o que está relacionado com o atraso na coloração. No estágio maduro, foi verificado efeito significativo do

genótipo *rin⁺/rin*, isoladamente, bem como dos genótipos portadores das duplas combinações heterozigóticas entre os três alelos, em estudo sobre o teor de licopeno nos frutos (Tabela 4). Os genótipos *rin⁺/rin* e *nor⁺/nor rin⁺/rin* foram os que apresentaram redução mais acentuada no teor de licopeno, nos frutos maduros, quando comparados ao genótipo normal (Tabela 4). As estimativas dos contrastes que medem a não-aditividade entre os efeitos dos locos (*nor⁺/nor* e *nor⁺/nor^A*) e (*nor⁺/nor^A* e *rin⁺/rin*), sobre o teor de licopeno nos frutos maduros, foram significativas (Tabela 4), o que indica que os genótipos duplo-mutantes, para esses locos, foram menos drásticos em diminuir o teor de licopeno nos frutos, do que seria esperado pela soma dos efeitos dos genótipos portadores desses locos isoladamente.

Tabela 4. Contrastes não-ortogonais de interesse, entre dez genótipos de tomateiro, em três estádios de amadurecimento dos frutos: teores médios de clorofila, licopeno e beta-caroteno.

Contraste de interesse	Estádio de amadurecimento	Efeito avaliado	Estimativas dos contrastes (mg 100 g ⁻¹)		
			Clorofila	Licopeno	Beta-caroteno
T1 - T2	<i>Breaker</i>	FloraDade x Tropic	0,003	25,99	3,57
T3 - [0,5 (T1 + T2)]	<i>Breaker</i>	Heterose no <i>background</i> normal	0,466**	-14,66	2,28
T4 - T3	<i>Breaker</i>	Apenas <i>nor⁺/nor^A</i>	-0,461**	-7,19	-3,05
T5 - T3	<i>Breaker</i>	Apenas <i>nor⁺/nor</i>	-0,659**	-5,31	2,90
T6 - T3	<i>Breaker</i>	Apenas <i>rin⁺/rin</i>	-0,156	-6,53	-12,96**
T7 - T3	<i>Breaker</i>	Dupla combinação <i>nor^A/nor</i>	-0,316**	-2,05	6,87*
T8 - T3	<i>Breaker</i>	Dupla combinação <i>nor⁺/nor^A rin⁺/rin</i>	-0,396**	-9,95	2,08
T9 - T3	<i>Breaker</i>	Dupla combinação <i>nor⁺/nor rin⁺/rin</i>	-0,539**	-10,39	1,73
T7 + T3 - T5 - T4	<i>Breaker</i>	Não-aditividade entre <i>nor⁺/nor^A</i> e <i>nor⁺/nor</i>	0,804**	10,45	7,01*
T8 + T3 - T4 - T6	<i>Breaker</i>	Não-aditividade entre <i>nor⁺/nor^A</i> e <i>rin⁺/rin</i>	0,221	3,78	18,09**
T9 + T3 - T5 - T6	<i>Breaker</i>	Não-aditividade entre <i>nor⁺/nor</i> e <i>rin⁺/rin</i>	0,275*	1,45	11,79*
T1 - T2	Intermediário	FloraDade x Tropic	0,115	15,46	4,15
T3 - [0,5 (T1 + T2)]	Intermediário	Heterose no <i>background</i> normal	-0,054	6,31	-4,56
T4 - T3	Intermediário	Apenas <i>nor⁺/nor^A</i>	-0,118	-33,31	3,02
T5 - T3	Intermediário	Apenas <i>nor⁺/nor</i>	-0,385**	-36,82	-1,87
T6 - T3	Intermediário	Apenas <i>rin⁺/rin</i>	0,009	-29,90	2,89
T7 - T3	Intermediário	Dupla combinação <i>nor^A/nor</i>	-0,365**	-41,33	3,81
T8 - T3	Intermediário	Dupla combinação <i>nor⁺/nor^A rin⁺/rin</i>	-0,107	-28,74	0,76
T9 - T3	Intermediário	Dupla combinação <i>nor⁺/nor rin⁺/rin</i>	-0,231**	-29,57	-0,54
T7 + T3 - T5 - T4	Intermediário	Não-aditividade entre <i>nor⁺/nor^A</i> e <i>nor⁺/nor</i>	0,138	28,80	2,67
T8 + T3 - T4 - T6	Intermediário	Não-aditividade entre <i>nor⁺/nor^A</i> e <i>rin⁺/rin</i>	0,003	34,46	-5,17
T9 + T3 - T5 - T6	Intermediário	Não-aditividade entre <i>nor⁺/nor</i> e <i>rin⁺/rin</i>	0,144	37,16	-1,56
T1 - T2	Maduro	FloraDade x Tropic	-0,181*	100,78**	-1,13
T3 - [0,5 (T1 + T2)]	Maduro	Heterose no <i>background</i> normal	-0,210**	-50,39**	3,84
T4 - T3	Maduro	Apenas <i>nor⁺/nor^A</i>	0,119	31,43	9,82**
T5 - T3	Maduro	Apenas <i>nor⁺/nor</i>	0,132	-14,49	1,25
T6 - T3	Maduro	Apenas <i>rin⁺/rin</i>	0,313**	-162,98**	-1,42
T7 - T3	Maduro	Dupla combinação <i>nor^A/nor</i>	0,255**	-62,19**	8,26*
T8 - T3	Maduro	Dupla combinação <i>nor⁺/nor^A rin⁺/rin</i>	0,182*	-56,70**	0,09
T9 - T3	Maduro	Dupla combinação <i>nor⁺/nor rin⁺/rin</i>	0,039	-148,06**	5,55
T7 + T3 - T5 - T4	Maduro	Não-aditividade entre <i>nor⁺/nor^A</i> e <i>nor⁺/nor</i>	0,004	79,13**	-2,81
T8 + T3 - T4 - T6	Maduro	Não-aditividade entre <i>nor⁺/nor^A</i> e <i>rin⁺/rin</i>	-0,250**	74,85*	-8,31
T9 + T3 - T5 - T6	Maduro	Não-aditividade entre <i>nor⁺/nor</i> e <i>rin⁺/rin</i>	-0,407**	29,41	5,73

* e **Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Conclusões

1. Isoladamente, o alelo *rin* mostra-se mais promissor em prolongar a firmeza dos frutos, quando comparado com o alelo *nor*.

2. O uso de híbridos heterozigotos, nas duplas combinações entre os locos *nor^A*, *nor* e *rin*, propicia frutos mais firmes, em comparação com os híbridos portadores desses alelos isoladamente; embora os frutos duplo-mutantes sofram atraso na evolução da coloração, esse não é um fator limitante.

3. A característica longa-vida de um híbrido é resultante não somente da utilização de mutantes de amadurecimento, mas também do *background* genotípico.

Agradecimentos

Ao CNPq/RHAE (Programa de Recursos Humanos em Áreas Estratégicas), pela concessão de bolsas de doutorado; à Faepe/Ufla, pelo apoio institucional; à Fapemig, pelo auxílio financeiro; à Capes/MEC, pela concessão de bolsa; à HortiAgro Sementes Ltda., por disponibilizar seus funcionários para auxílio nas atividades de campo.

Referências

- 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**, v.125, p.215-226, 2002.
- BENITES, F.R.G. **Estudos genético-fisiológicos dos mutantes, alcobaça (alc), non-ripening (nor) e ripening-inhibitor (rin) em tomateiro**. 2003. 106p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- BRUINSMA, J. The quantitative analysis of chlorophylls A and B in plant extracts. **Photochemistry and Photobiology**, v.2, p.241-249, 1963.
- BUESCHER, R.W.; TIGCHELAAR, E.C. Pectinesterase, polygalacturonase, cx-cellulase activities and softening of the *rin* tomato mutant. **HortScience**, v.10, p.624-625, 1975.
- CALBO, A.G.; NERY, A.A. Medida de firmeza em hortaliças pela técnica de aplanção. **Horticultura Brasileira**, v.13, p.14-18, 1995.
- DIAS, T.J.M.; MALUF, W.R.; FARIA, M.V.; FREITAS, J.A.; GOMES, L.A.A.; RESENDE, J.T.V.; AZEVEDO, S.M. Alcobaça allele and genotypic backgrounds affect yield and fruit shelf life of tomato hybrids. **Scientia Agricola**, v.60, p.269-275, 2003.
- FARIA, M.V.; MALUF, W.R.; AZEVEDO, S.M.; ANDRADE-JÚNIOR, V.C.; GOMES, L.A.A.; MORETTO, P.; LICURSI, V. Yield and post-harvest quality of tomato hybrids heterozygous at the loci *alcobaça*, *old gold-crimson* or *high pigment*. **Genetics and Molecular Research**, v.2, p.317-327, 2003.
- FREITAS, J.A. de; MALUF, W.R.; GOMES, L.A.A.; OLIVEIRA, A.C.B. de; MARTINS, W.; BRAGA, R.S. Padrão de amadurecimento e conservação pós-colheita de frutos de tomateiro, em função das diferentes constituições genotípicas no loco *alcobaça*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.10, p.191-196, 1998.
- KOPELIOVITCH, E.; RABINOWITCH, H.D.; MIZRAHI, Y.; KEDAR, N. The potential of ripening mutants for extending the storage life of the tomato fruit. **Euphytica**, v.28, p.99-104, 1979.
- LOBO, M. **Genetic and physiological studies of the "Alcobaça" tomato ripening mutant**. 1981. 107p. Thesis (Ph.D.) - University of Florida, Florida.
- 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**, v.109, p.741-745, 1984.
- MALUF, W.R.; MIRANDA, J.E.C.; CAMPOS, J.R. Análise genética de um cruzamento dialélico de tomate. I. Características referentes à produção de frutos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, p.633-634, 1982.
- MUTSCHLER, M.A. Inheritance and linkage of the 'alcobaça' ripening mutant tomato. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v.109, p.500-503, 1984a.
- MUTSCHLER, M.A. Ripening and storage characteristics of the 'alcobaça' ripening mutant in tomato. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v.109, p.504-507, 1984b.
- 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**, v.27, p.352-355, 1992.
- NAGATA, M.; YAMASHITA, I. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi**, v.39, p.925-928, 1992.
- SINK, K.C.; HERNER, R.C.; KNOWLTON, L.L. Chlorophyll and carotenoids of the *rin* tomato mutant. **Canadian Journal of Botany**, v.52, p.1657-1660, 1974.
- SOUZA, J.C.; MALUF, W.R.; SOUZA SOBRINHO, F.; GOMES, L.A.A.; MORETO, P.; LICURSI, V. Características de produção e conservação pós-colheita de frutos de tomateiros híbridos portadores do alelo "alcobaça". **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, p.503-509, 2001.
- TIGCHELAAR, E.C.; McGLASSON, W.B.; BUESCHER, R.W. Genetic regulation of tomato fruit ripening. **HortScience**, v.13, p.508-513, 1978.
- VILAS BOAS, E.V.B.; CHITARRA, A.B.; MALUF, W.R.; CHITARRA, M.I.F. Influência do alelo *alcobaça* em heterozigose sobre a vida de prateleira e qualidade pós-colheita de tomates. **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, p.650-657, 1999.

Recebido em 28 de janeiro de 2005 e aprovado em 22 de março de 2005