

LEANDRO AUGUSTO ANDRADE FUMES

**OBTENÇÃO E AVALIAÇÃO DE HÍBRIDOS DE TOMATEIROS COM GENE DE
NANISMO VISANDO O PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DOS FRUTOS**

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

Orientador: Derly José Henriques da Silva

**VIÇOSA – MINAS GÉRIAS
2020**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

F977o
2020

Fumes, Leandro Augusto Andrade, 1987-
Obtenção e avaliação de híbridos de tomateiros com gene
de nanismo visando o processamento industrial dos frutos /
Leandro Augusto Andrade Fumes. – Viçosa, MG, 2020.
67 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Derly José Henriques da Silva.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.62-67.

1. Tomate - Melhoramento genético - Métodos estatísticos.
2. Recursos genéticos. 3. Híbridos. 4. *Solanum lycopersicum*.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Agronomia.
Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento.
II. Título.

CDD 22. ed. 635.62052

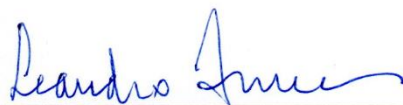
LEANDRO AUGUSTO ANDRADE FUMES

**OBTENÇÃO E AVALIAÇÃO DE HÍBRIDOS DE TOMATEIROS COM GENE DE
NANISMO VISANDO O PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DOS FRUTOS**

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

APROVADA: 30 de setembro de 2020.

Assentimento:



Leandro Augusto Andrade Fumes

Autor



Derly José Henriques da Silva

Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, Nossa Senhora e ao meu Anjo da Guarda.

Aos meus pais, Atilana e Mário, pilares da minha formação pessoal e moral, por oferecerem apoio e carinho, sou grato a tudo que já fizeram e ainda fazem por mim.

Agradeço à minha família, em especial à Eliane, Eloiza, Margarida e Regiane pela amizade e companhia, mesmo geograficamente longe.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento pela oportunidade na realização deste curso de doutorado e toda estrutura oferecida.

Ao corpo docente da Ufv, pela formação científica e profissional.

Ao meu orientador, Prof. Derly José Henriques da Silva, pela orientação, apoio e amizade.

À CAPES, CNPq e FAPEMIG pela concessão da bolsa de estudos e o financiamento da pesquisa.

A toda população brasileira, contribuinte, a qual ofereço esse trabalho.

Aos colegas do Núcleo de Estudos em Olericultura (NEO) e funcionários do laboratório de Manejo de Recursos Genéticos Vegetais, do campo experimental Horta Velha e Horta Nova, por toda ajuda.

Ao Rafael Ravaneli Chagas e aos estagiários: Ademir Martins, André Gama, Andressa Fonseca, Gabriel Salvador, Gustavo Bastos, Letícia Xavier, Lucas Lazarini, Marlene Bretas, Pedro Cvasin e Vívian Moreira, pela ajuda e companheirismo, os quais foram imprescindíveis para a condução dos trabalhos.

Às amigas de Viçosa: Bruno Leichtweis, Carol Perricone e Letícia Faria, por todo apoio oferecido nas alegrias e nas adversidades.

Aos membros da banca, pela disponibilidade e sugestões.

Enfim, a todos que de alguma maneira contribuíram para este trabalho e para minha formação pessoal e profissional, o meu muito obrigado.

RESUMO

FUMES, Leandro Augusto Andrade, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2020. **Obtenção e avaliação de híbridos de tomateiros com gene de nanismo visando o processamento industrial dos frutos.** Orientador: Derly José Henriques da Silva.

O tomateiro com o fruto destinado à indústria é cultivado de forma rasteira, sem a utilização de tutoramento, fazendo com que a planta fique naturalmente prostrada e com os frutos em contato com o solo, no qual se encontram patógenos que reduzem a qualidade dos frutos. A utilização de nanismo em plantas é uma alternativa para reduzir esse acamamento e possibilitar, consequentemente em tomateiros, menor contato dos frutos com o solo. O objetivo deste trabalho foi obter e selecionar linhagens parentais e gerar híbridos de tomateiro com copa compacta (anãs) e alta produtividade, mantendo boa qualidade de frutos. Para isso, foram realizados dois experimentos: o primeiro, em delineamento em blocos aumentados, para a avaliação dos indivíduos de quatro populações, com um total de 492 linhagens geradas a partir do cruzamento entre híbridos comerciais e acessos contendo gene de nanismo, sendo utilizados os valores genotípicos, estimados por modelos mistos, para selecionar os genótipos superiores. E o segundo experimento, em que esses genótipos selecionados enfatizando produção de frutos e copa compacta, foram cruzados em um esquema de dialelo parcial 6x5, seguido da avaliação dos 30 híbridos gerados, em um experimento com delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Entre as linhagens avaliadas, utilizando os valores genotípicos, foi possível realizar seleção de indivíduos superiores para cada característica, podendo também eleger indivíduos geneticamente complementares para realização de cruzamentos. Na avaliação dos híbridos, foram encontrados genótipos com dossel reduzido (até 27,3% menor que as testemunhas) e alta produção (até 47,9% maior que as testemunhas), mantendo a qualidade de fruto e polpa (viscosidade, pH, firmeza e sólidos solúveis totais). Com o híbrido mais produtivo, o H-9, se for utilizado um número maior de indivíduos por área, respeitando a proporção da redução do dossel, é estimada uma produtividade 69,6% maior que a observada pelas testemunhas deste ensaio, demonstrando que a inserção do gene de nanismo e a obtenção e escolha de bons genitores foi eficiente na formação de híbridos superiores.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*. Recursos genéticos. Modelos mistos. Dialelo parcial.

ABSTRACT

FUMES, Leandro Augusto Andrade, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2020. **Obtainment and evaluation of tomato hybrids with dwarf gene for industrial fruit processing.** Adviser: Derly José Henriques da Silva.

Industrial tomatoes are grown without staking. Thus, the plant is naturally prostrate with the fruits in contact with the soil, which has pathogens that reduce its quality. The use of dwarfism in plants is an alternative to reduce lodging and consequently allows, in tomatoes, less contact between fruits and soil. The objective of this work was to obtain and select parental lines and to generate tomato hybrids with compact canopies (dwarfs) and high yield, maintaining good fruit quality. To this, were made two experiments: one in augmented blocks design for the evaluation of four populations, a total of 492 line being used genotypic values obtained by mixed models to select the superior genotypes. And the second, in which these selected genotypes were crossed in a 6x5 partial diallel, followed by the evaluation of the 30 hybrids generated, in an experiment with a randomized block design, with four replications. Among the lines evaluated, using the genotypic values, it was possible to carry out selection of superior individuals for each trait, and it could also elect complementary individuals genetically to perform crosses. In the evaluation of the hybrids, genotypes with reduced canopy (up to 27.3% lower than the controls) and high production (up to 47.9% higher than the controls) were found, maintaining the fruit and pulp quality (viscosity, pH, firmness and total soluble solids). With the most productive hybrid, the H-9, if a larger number of individuals are used per area, respecting the proportion of the canopy reduction, an estimated 69.6% higher productivity than that observed by the best control of this trial, demonstrating that the insertion of the dwarf gene and obtaining and choosing good parents was efficient in the formation of superior hybrids.

Keywords: *Solanum lycopersicum*. Dwarfism. Genetic resources. Mixed models. Partial diallel.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BGH	Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa
BLUP	Melhor preditor linear não viesado
CEC	Capacidade específica de combinação
CGC	Capacidade geral de combinação
cm	Centímetro
DBA	Delineamento em blocos aumentados
DBC	Delineamento em blocos casualizados
F ₋	Geração de autofecundação
ha	Hectare
g	Gramma
G1	Grupo 1
G2	Grupo 2
kg	Quilograma
m	Metro
MG	Minas Gerais (Estado)
N	Newton
pH	Potencial Hidrogeniônico
REML	Máxima verossimilhança restrita
RC	Retrocruzamento
s	Segundo
SST	Sólidos solúveis totais
UFV	Universidade Federal de Viçosa
Vg	Valor genotípico

SUMÁRIO

1 Introdução Geral	8
2 Capítulo I:	12
SELEÇÃO VIA MODELOS MISTOS DE LINHAGENS DE TOMATEIRO ANÃO COM FRUTOS DESTINADOS À INDÚSTRIA	12
Resumo	13
Abstract	14
2.1 Introdução	15
2.2 Material e métodos	20
2.2.1 Material genético	20
2.2.2 Condução do experimento	21
2.2.3 Avaliações fenotípicas	22
2.2.4 Análises estatísticas	22
2.3 Resultados e discussão	24
2.4 Conclusões	36
3 Capítulo II.....	37
AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE HÍBRIDOS DE TOMATEIRO INDUSTRIAL COM FENÓTIPO ANÃO	37
Resumo	38
Abstract	39
3.1 Introdução	40
3.2 Material e métodos	43
3.2.1 Material genético	43
3.2.2 Condução do experimento	43
3.2.3 Avaliações fenotípicas	44
3.2.4 Análises estatísticas	45
3.3 Resultados	46
3.3.1 Análise Dialélica	46
3.3.2 Desempenho dos híbridos.....	50
3.4 Discussão	55
3.5 Conclusões	60
4 Conclusões gerais	61
Referências	62

1 Introdução Geral

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma planta perene, mas cultivada como anual, autógama, de porte arbustivo, podendo se desenvolver de forma rasteira, semiereta ou ereta, pertencente à família Solanaceae. Seu desenvolvimento é influenciado por vários fatores como a constituição genética, acesso à luminosidade, temperatura ambiental, nutrição e disponibilidade de água e CO₂ (ALVARENGA, 2004).

São considerados dois centros de diversidade para essa planta: a região da Cordilheira dos Andes, entre o Equador e Chile, e o México (CLEMENTE; BOITEUX, 2012). Foi introduzido na Europa entre os anos de 1524 e 1554, sendo utilizado inicialmente como ornamental pois acreditavam ser tóxica, retardando assim o seu consumo (CAMARGO et al., 2006a). Atualmente é cultivado em diversos locais do mundo, nas mais variadas latitudes (GRAÇA et al., 2015).

O fruto do tomateiro, o tomate, que representa a parte da planta de interesse comercial, é uma baga carnosa e succulenta, bi, tri ou plurilocular e, quando maduro, possui massa fresca entre 5 a 500 gramas, a qual varia em função da cultivar (genética) e condições de desenvolvimento (ALVARENGA, 2004).

Essa cultura é considerada uma das olerícolas mais importantes para a demanda humana, podendo ser obtido pelo consumidor tanto *in natura* (tomate de mesa) quanto processado industrialmente, com seu consumo realizado mediante extratos, polpas, molhos e tomate pelado. No mercado brasileiro, os derivados de tomate mais consumidos são o extrato concentrado e os molhos prontos (MELO; VILELA, 2005). Esse processamento industrial permite maior tempo de conservação e facilita a logística do produto, facilitando a aquisição pelo consumidor com a qualidade mantida (CAMARGO et al., 2006b; CLEMENTE; BOITEUX, 2012).

A produção mundial de tomate destinado ao processamento industrial possui uma estimativa superior a 39,4 milhões de toneladas para o ano de 2020. Em 2019 foram produzidos 37,38 milhões de toneladas mundialmente, tendo o Brasil como o maior produtor (1,2 milhões de t) da América do Sul, ficando mundialmente em oitavo lugar, atrás dos EUA (Califórnia), Itália, China, Espanha, Turquia, Iran e Portugal (WPTC, 2020).

O aumento da população em áreas urbanas resultou na ampliação do consumo desses derivados de tomate gerados pela indústria, podendo divergir conforme as regiões no mundo e com a renda *per capita* da população (CAMARGO et al., 2006b).

Do ponto de vista agrícola, por seus frutos possuírem um número grande de sementes, diferente de outras autógamias, geralmente é realizado o cultivo de híbridos ao invés de linhagens, aproveitando-se assim da heterose, o que, em conjunto da produção em regiões favoráveis para o cultivo e a implantação da mecanização nos campos de produção, possibilitou a expansão do cultivo de tomate industrial e maiores produtividades. A colheita mecanizada permitiu contornar a escassez de mão de obra nessa etapa e reduzir a disseminação de doenças pela movimentação de pessoas no campo (CLEMENTE; BOITEUX, 2012).

As cultivares comerciais de tomateiros são plantas com um dossel grande, de porte prostrado, com o ramo principal e laterais longos, acarretando no acamamento das plantas, ou seja, elas se desenvolvem com parte dos ramos em contato com o solo, inclusive por não suportar o peso dos frutos na vertical e, a fim de evitar que isso aconteça, no cultivo de tomate de mesa, pelo valor agregado contido no aspecto visual dos frutos, é realizado o tutoramento, evitando assim que a planta e os frutos entrem em contato com o solo, a fim de manter a sanidade e ausência de deteriorações (ALVARENGA, 2004; CAMARGO et al., 2006a; LEDO et al., 1995).

Porém, visando a redução de custos e mão de obra, no cultivo de tomate industrial não é realizado esse tutoramento e as plantas são cultivadas de forma rasteira (CAMARGO et al., 2006a), acarretando em duas consequências: (i) a necessidade que a plataforma de corte da colhedora passe rente ao solo, ocasionando na entrada de torrões de terra no equipamento, gerando assim um desgaste físico do equipamento, e (ii) a redução da qualidade e produtividade dos frutos em decorrência da infecção de microrganismos presentes no solo, como *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* e *Sclerotinia sclerotiorum*. Visando impedir esse processo de infecção patogênica, pode ser evitado solos com excesso de água, utilização de menor densidade de plantas e o cultivo de variedades que possuam porte ereto (CLEMENTE; BOITEUX, 2012), sendo que, entre essas alternativas, apenas o porte ereto pode ser controlado geneticamente e não por alterações ambientais.

Uma estratégia utilizada no melhoramento para conferir esse porte mais ereto às plantas está na utilização de genes que controlam o fenótipo anão, conferindo às plantas um hábito de crescimento compacto. O nanismo altera a arquitetura da planta (FINZI et al., 2017), reduzindo tanto a altura do vegetal, tornando-os menos suscetíveis ao acamamento e, por consequência, diminuindo a incidência do contato dos frutos com o solo, como reduz o diâmetro do dossel, possibilitando um maior adensamento das plantas, permitindo assim a utilização de um maior número de plantas por área, incrementando assim a produção (KEMBLE et al., 1994).

O hábito de crescimento anão foi descrito antes mesmo da genética moderna (PELTON, 1964). O exemplo mais difundido na utilização dessa característica para fins agrônômicos é o do trigo na década de 80, durante a revolução verde, em que a planta semi-anã (porte intermediário), com caules compactos, possuía redução no acamamento, mesmo sob maiores doses de fertilizantes, possibilitando também melhor particionamento dos fotoassimilados para os grãos ao invés da parte vegetativa, aumentando assim a produtividade (HEDDEN, 2003).

As diferenças fisiológicas nas plantas associadas a muitos dos genes de nanismo ainda não têm o mecanismo totalmente elucidado, sendo geralmente relacionados a regulação e síntese de hormônios, principalmente da giberelina e brassinosteróides, podendo-se quantificar a diferença hormonal endógena entre plantas anãs e normais ou confirmar a deficiência na produção desses hormônios realizando suas aplicações exógenas (MORI et al., 2002; PHINNEY, 1985).

O hormônio vegetal giberelina influencia em diversos mecanismos de desenvolvimento da planta, como no tamanho total do indivíduo, desenvolvimento da parte reprodutiva, alongamento dos caules, e no formato e tamanho das folhas (CHENG, 2004; JASINSKI et al., 2008; KOORNNEEF et al., 1990; RICHARDS et al., 2001), além do que, mutações em genes associados a biossíntese desse hormônio ou seus receptores podem gerar indivíduos de crescimento compacto e algumas vezes com folhas verdes mais escuras e espessas (HARBERD; BELFIELD; YASUMURA, 2009; MUANGPROM et al., 2005). Porém, em alguns genótipos anões, mesmo realizando a aplicação de ácido giberélico, não houve a conversão do fenótipo para o normal, indicando que essas mutações podem não ser causadas pela variação em genes responsáveis pela biossíntese desse hormônio (BISHOP; HARRISON; JONES, 1996).

Outra classe de hormônio responsável pela regulação do crescimento e desenvolvimento vegetal são os brassinosteróides, uma vez que plantas com genes mutantes causadores de deficiência na síntese dessas moléculas, possuem estatura menor e mais robusta, além de folhas mais arredondas e com tom de verde mais escuro (FUJIOKA; YOKOTA, 2003; ZHU; SAESEAW; WANG, 2013). Em *S. lycopersicum* são conhecidos três genes que reduzem o porte da planta pela mudança na produção e sensibilidade aos brassinosteróides, sendo eles: *dwarf* (*d*), *curl-3* (*cu-3*) e *dumpy* (*dpy*), possuindo 11, dois e três alelos cada, respectivamente (SGN, 2020; TGRC, 2020).

No total, em tomateiros, já foram identificados mais de 19 genes que determinam o fenótipo anão, com a redução da copa da planta, fazendo-se responsáveis principalmente pelo encurtamento dos entrenós, podendo ou não influenciar em outras características, como no

tamanho dos frutos e limbo foliar, espessura e rugosidade nas folhas, quantidade de ramificações, causar clorose nas folhas ou até mesmo na atrofia do indivíduo, destacando que, geralmente, o controle genético do nanismo é recessivo, podendo também haver interação gênica de dominância parcial (MARIM, 2011; RICK, 1952; TGRC, 2020).

Essas outras modificações como a redução drástica no tamanho das folhas e frutos pode ser interessante para estudos sobre rotas metabólicas e transformação genética (EMMANUEL; LEVY, 2002; LIMA et al., 2004; MATSUKURA et al., 2008; SUN et al., 2006), ou até mesmo visando obter plantas para cultivo ornamental (SCOTT; HARBAUGH, 1989, apud MARTI, 2006 p.2037). No entanto, isso é uma desvantagem quando o programa de melhoramento visa gerar híbridos comerciais que possam ter seus frutos destinados à indústria, pois nesse caso, o ideótipo é uma planta com alta produção de frutos, ereta, compacta (folhas com folíolos mais próximos e redução no número de ramificações), permitindo assim maior adensamento durante o cultivo, além disso, não é interessante que haja redução no tamanho dos frutos, mantendo assim as exigências do mercado (SEUS, 2015).

Dentre os mais de 980 acessos de tomateiro do Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa, há 16 genótipos que possuem o hábito de crescimento compacto (fenótipo anão, entrenós reduzidos, porte ereto) e que preservam frutos de tamanho normais quando comparados as cultivares utilizadas atualmente (BGH-UFV, 2020). Dessa forma, esses acessos podem ser úteis como genitores no início do programa de melhoramento que visa obter plantas compactas e com alta produtividade, uma vez que reduzindo o espaçamento entre plantas anãs pode-se atingir maior produtividade quando comparadas às plantas de porte normal sob o espaçamento tradicional (KEMBLE et al., 1994).

Dessa forma, a obtenção de plantas compactas, produtivas e com boas qualidades de fruto perante a demanda industrial pode contribuir para os produtores tanto no manejo, facilitando a colheita mecanizada, quanto aumentando os lucros devido a maior produção.

Tendo em vista o exposto acima, esse trabalho teve por objetivo gerar híbridos de tomateiro com os frutos aptos ao processamento industrial cujas plantas apresentem copas compactas (anãs) e com alta produtividade.

2 Capítulo I:

**SELEÇÃO VIA MODELOS MISTOS DE LINHAGENS DE TOMATEIRO ANÃO
COM FRUTOS DESTINADOS À INDÚSTRIA**

Resumo

FUMES, Leandro Augusto Andrade, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2020. **Seleção via modelos mistos de linhagens de tomateiro anão com frutos destinados à indústria.** Orientador: Derly José Henriques da Silva.

A utilização de modelos mistos possibilita a estimação e predição genotípicas mais acuradas pela utilização de informações interblocos e intertratamentos, tornando-se atrativa em experimentos onde há uso de delineamentos desbalanceados, tratamentos não repetidos, muitos genótipos a serem avaliados, diferentes tipos de genótipos e tratamentos genéticos relacionados por origem; características essas presentes nesse experimento. O objetivo foi avaliar e classificar as linhagens de quatro populações de tomateiros de fenótipo anão com frutos destinados à indústria, selecionando os indivíduos com os melhores valores genotípicos. Para isso, 492 linhagens de tomateiro foram avaliadas utilizando o delineamento em blocos aumentados, com três testemunhas repetidas seis vezes. Foram avaliados: compacidade e acamamento da copa, incidência de lesões por doenças, uniformidade das parcelas, produção e firmeza de frutos, e as características da polpa: pH, sólidos solúveis totais, e viscosidade. A predição dos valores genotípicos seguiu a metodologia dos modelos mistos, considerando os genótipos como efeito aleatório e as testemunhas e blocos como efeito fixo. Os valores genotípicos variaram de 5,60 a 3,32 para produção de frutos, 2,52 a 6,04 para compacidade da copa, 1,37 a 3,33 para lesões por doença, 0,54 a 3,35 para uniformidade das parcelas, 15,48 a 13,77 para firmeza dos frutos, 4,02 a 4,66 para pH, 5,18 a 4,10 para teor de sólidos solúveis totais e 43,07 a 158,77 para viscosidade da polpa. Com essas estimativas é viável selecionar indivíduos entre e dentro de cada população levando em conta cada caráter. Sendo possível então selecionar os melhores genótipos que possuam características complementares, como o A63 (produção de frutos) e D12 (copa compacta e ereta), para serem utilizados como genitores na geração de híbridos.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*. Nanismo. REML/BLUP. Produção.

Abstract

FUMES, Leandro Augusto Andrade, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September 2020. **Selection of dwarf industrial tomato lines by mixed models.** Adviser: Derly José Henriques da Silva.

The use of mixed models allows more accurate genotypic estimation and prediction through the use of inter-block and inter-treatment information, it becomes attractive when the experiments use unbalanced designs, non-repeated treatments, many genotypes to be evaluated, different types of genotypes and related genetic treatments by origin; characteristics present in this experiment. The objective was to evaluate and classify lines of four populations of dwarf tomatoes with fruits destined for the industry, selecting the individuals with the best genotypic values. For this, 492 tomato lines were evaluated using the augmented block design, with three controls repeated six times. It was evaluated: compactness and lodging of the canopy, incidence of lesions by diseases, uniformity of the plots, fruit yield and firmness, pH, total soluble solids, and viscosity. The prediction of the genotypic values followed the methodology of the mixed models, considering the genotypes as a random effect and the controls and blocks as a fixed effect. Genotypic values range from 5.60 to 3.32 for fruit production, 2.52 to 6.04 for canopy compaction, 1.37 to 3.33 for disease injuries, 0.54 to 3.35 for uniformity of the plots, 15.48 to 13.77 for fruit firmness, 4.02 to 4.66 for pH, 5.18 to 4.10 for total soluble solids content and 43.07 to 158.77 for pulp viscosity . With these estimates it is feasible to select individuals among and within each population, considering each character. It is possible to select genotypes that may have complementary characteristics, such as A63 (fruit yield) and D12 (compact and upright canopy), to be used as parents in the generation of hybrids.

Keywords: *Solanum lycopersicum*. Dwarfism. REML/BLUP. Yield.

2.1 Introdução

Pertencente à família das Solanáceas, o tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) tem como seu principal centro de diversidade a região Andina, entre o Chile e Equador, tendo o México também considerado como outro possível centro de diversidade (CLEMENTE; BOITEUX, 2012).

Além do uso *in natura*, o fruto do tomateiro pode ser submetido ao processamento industrial, sendo produzidos extratos, molhos, polpas, tomate pelado, *ketchups* etc. Para esse fim, o plantio dos tomateiros é realizado sem tutoramento, acamando a medida que a planta se desenvolve, ocasionando em perdas na produtividade ou na qualidade dos frutos em decorrência do contato desses com o solo, pois isso favorece a incidência de patógenos (CLEMENTE; BOITEUX, 2012).

Uma alternativa utilizada no melhoramento vegetal visando reduzir esse acamamento de plantas é a inserção de gene(s) que confere(m) às plantas o fenótipo anão, sendo uma estratégia já utilizada em várias espécies como, por exemplo, no trigo (HEDDEN, 2003), milho (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001) e arroz (RUTGER; PETERSON, 1976).

Geralmente, nos programas de melhoramento de tomateiro, primeiramente é realizada a escolha dos genitores. Em seguida, eles são cruzados artificialmente e seus descendentes (F₁) são autofecundados, na maioria dos casos, de forma natural, uma vez que a estrutura floral favorece a autopolinização. A população seguinte (F₂) irá segregar para as características em que os progenitores eram contrastantes e possuíam genes ou alelos distintos. Após essa etapa, nos diferentes métodos de melhoramento são administradas as sucessíveis gerações de um modo particular até a obtenção de linhagens (indivíduos com a maioria dos seus genes em homozigose).

Por exemplo, no método do “descendente de uma única semente” (*single seed descend* – SSD) é coletada uma semente (F₃) de cada planta da geração F₂, e essa é cultivada, autofecundada e novamente uma de suas sementes (F₄) é colhida e levada para a geração futura, e assim sucessivamente. Dessa forma, em toda geração haverá um representante de cada planta da geração anterior, até chegar em nível aceitável de homozigose na população, geralmente em F₅ a F₇, dependendo de quão contrastantes eram os progenitores que geraram essa população. Esses indivíduos então devem ser avaliados em experimentos respeitando os princípios da experimentação agrícola: repetição, casualização, e quando necessário, em áreas heterogêneas, controle local (BORÉM; MIRANDA; FRIETSCHÉ-NETO, 2017).

Quando o ambiente em que os tratamentos, no caso os genótipos, serão avaliados apresenta grande heterogeneidade, faz-se uso dos blocos como controle local. Propostos por Fisher (1925), a área é subdividida pra que em cada bloco o ambiente seja relativamente homogêneo, particionando assim a variância ambiental. Tradicionalmente, cada bloco recebe uma repetição de todos os tratamentos testados.

Porém, em algumas fases do programa de melhoramento é necessária a avaliação de um grande número de genótipos, não sendo viável a acomodação de todos eles em blocos homogêneos. Uma alternativa está na utilização de delineamento em blocos aumentados (DBA), onde os tratamentos podem ser testados com apenas uma repetição.

Primeiramente propostos por Federer (1956; 1960; 1961; 1963; 1972; apud FEDERER; RAGHAVARAO, 1975, p.29), o DBA pode ser utilizado em ensaios preliminares, onde os delineamentos são considerados como padrão (inteiramente ao acaso, blocos casualizados, quadrado latino etc.), os quais recebem tratamentos adicionais. Ou seja, em delineamentos aumentados existem dois tipos de tratamentos: os comuns, ou testemunhas, que estarão repetidos r vezes no experimento; e os tratamentos adicionais, ou regulares, que estão presentes de forma aleatória apenas uma vez. Assim, no DBA a média dos tratamentos não repetidos pode ser ajustada para os efeitos ambientais, como blocos, linhas e colunas, estimados a partir das testemunhas repetidas (FEDERER, 1956, apud DUARTE, 2000, p.23).

Quando são realizadas avaliações de genótipos, muitas vezes eles possuem algum parentesco entre si. Nesses casos é necessária a utilização de um modelo estatístico que permita a acomodação de efeitos de genótipos de duas naturezas, considerado fixo para as testemunhas e aleatório para os novos genótipos que se deseja avaliar (DUARTE, 2005).

Se considerarmos um delineamento experimental em blocos, com a genótipos de efeito g_i ($i=1, 2, \dots, a$) e b blocos, completos ou incompletos, de efeito b_j ($j=1, 2, \dots, b$), tendo Y_{ijr} como a observação em um caráter Y (fenotípico), relativo à r -ésima parcela ($r=1, 2, \dots, n_i$), que recebeu o tratamento i , identificada também pelo bloco j , temos o seguinte modelo linear que caracteriza os dados (DUARTE; VENCOVSKY, 2001):

$$Y_{ijr} = m + b_j + g_i + e_{ijr}$$

em que: $e_{ijr} \sim N(0, \sigma_e^2)$;
 $g_i \sim N(0, \sigma_g^2)$;
 $E(Y_{ijr}) = m + b_j$;
 $\text{Var}(Y_{ijr}) = \sigma_g^2 + \sigma_e^2$.

Sendo que nesse modelo o efeito de bloco (b_j) é assumido como fixo e o de genótipo (g_i) como aleatório, a constante m (média) é sempre considerado como fixo e e_{ijr} é de natureza sempre aleatória, caracterizando assim esse modelo como “misto”, uma vez que considera uma mistura de efeitos tanto fixos quanto aleatórios (além da média e o efeito residual) .

Matricialmente, essa e outras modelagens mistas podem ser expressas pela equação denominada “modelo linear misto geral” (DUARTE; VENCOVSKY, 2001; HENDERSON, 1984):

$$y = X\beta + Z\gamma + \varepsilon$$

com: $\varepsilon \sim N(\phi, R)$;

$\gamma \sim N(\phi, G)$;

$E(y) = X\beta$;

$\text{Var}(y) = V = ZGZ' + R$

Onde, nesse caso:

y é o vetor de observações;

X é uma matriz fixa conhecida do planejamento;

β é o vetor de efeitos fixos desconhecidos;

Z é uma matriz do delineamento conhecida;

γ é um vetor dos efeitos aleatórios; e

ε é o vetor de erros aleatório.

G e R são as matrizes de variâncias-covariâncias dos vetores γ e ε , respectivamente, as quais compõe V , que é a matriz e variância-covariância das observações.

Quando G e R não são conhecidas os componentes de variância a elas associados podem ser estimados ao utilizar o procedimento da máxima verossimilhança restrita (*Restricted Maximum Likelihood* – REML) (PATTERSON; THOMPSON, 1971; SEARLE; CASSELLA; MCCULLOUGH, 1992).

Geralmente, quando os ensaios seguem delineamentos balanceados e ortogonais, a ordem de classificação dos genótipos não se altera, independente de utilizar modelo fixo ou aleatório, porém, se ocorrer um desbalanceamento não planejado, como perda de parcelas, ou quando utiliza-se delineamentos que são por construção desbalanceados, como no caso do DBA, a ordenação das médias estimadas por modelo fixo geralmente é diferente das médias previstas pelo melhor preditor linear não viesado (*Best Linear Unbiased Prediction* - BLUP)

via abordagem de modelos mistos, tendo esse último uma vantagem pois tal ordenamento, mensurado pela variância genética, além de considerar relações de parentesco, implicando em resultados mais realistas, agrega essas informações para melhor prever o valor genético (V_g) dos tratamentos avaliados sem repetição (BUENO FILHO, 1997; DUARTE; VENCOVSKY, 2001).

Portanto, a utilização de modelos mistos, uma vez que possibilita a estimação e predição genotípicas mais acuradas pela utilização de informações interblocos e intertratamentos, torna-se atrativa quando nos experimentos há uso de delineamentos desbalanceados, tratamentos não repetidos, muitos genótipos a serem avaliados, diferentes tipos de genótipos (ex. linhagens, híbridos), tratamentos genéticos relacionados por origem, parcelas pequenas e perda de parcelas (DUARTE, 2010).

Uma particularidade é que na abordagem de modelos mistos ocorre um “encolhimento” (efeito *shrinkage*) nas predições BLUP em direção à média geral populacional que os tratamentos genéticos se relacionam, fazendo-se maior esse efeito quando as populações possuem baixa herdabilidade, ou seja, variância genética (σ^2_g) reduzida (DUARTE, 2010). Ao considerar esse “encolhimento”, quando a população de genótipos testados é promissora, tendo, por exemplo, média considerada melhor que da testemunha de melhor performance para aquele caráter, a abordagem de modelos mistos possibilita selecionar um maior número de genótipos em relação à testemunha quando comparada ao modelo fixo (FELIPE; DUARTE, 2010).

Considerando assim os modelos mistos, ao utilizar efeitos aleatórios (informações interblocos e intervarietais) é possível realizar uma análise mais eficiente dos dados, como também a melhor utilização dos recursos experimentais. Nessa abordagem, inclusive, pode ser incorporada a informação dos gradientes diferenciados dentro dos blocos (recuperação inter-regressão) combinando a análise de blocos com a análise espacial, através da abordagem dos modelos mistos generalizados (FEDERER, 1998).

Uma vez que utilizando o DBA a variância residual é estimada apenas a partir das testemunhas, a utilização de modelos geoestatísticos permitem aumentar a acurácia dessa estimação, já que esse procedimento permite uma melhor estratificação ambiental, tanto para a seleção massal quanto na definição dos efeitos fixos no procedimento BLUP, sendo esse realizado simultaneamente com a análise espacial (CULLIS et al., 1998).

O modelo linear misto geral pode ser utilizado nessa situação, em modelos geoestatísticos para análise espacial (séries temporais), onde é possível quantificar a variabilidade do espaço físico dentro do experimento utilizando procedimentos que permitem

apurar a estratificação ambiental (DEON; RESENDE; STURION, 2003). Nesse caso, $R=S$, sendo S a matriz não-diagonal onde são considerados a correlação entre resíduos, para contemplar a autocorrelação espacial entre as observações (RESENDE, 2000).

Dentre os diferentes modos de se modelar o S , um dos mais eficazes são os modelos temporais auto-regressivos integrado de médias móveis (ARIMA) em duas dimensões (AR1 x AR1). Genericamente, o erro é modelado em função de um efeito de tendência (ζ) mais um erro aleatório não correlacionado, ou seja, independente (η). Dividindo o vetor de erros em $\zeta + \eta$, em que ζ e η correspondem aos vetores de erros espacialmente correlacionados e resíduos aleatórios e independentes, respectivamente (CULLIS; GLEESON, 1991).

Assim, em um experimento com l linhas e c colunas, $W = (w_{ij})$ é a matriz de dados indexados na mesma ordem (posição) no campo. Considerando $w = \text{vec}(W)$, o modelo para o vetor de dados, ordenados como colunas e linha dentro de colunas (w), é dado por (CULLIS; GLEESON, 1991):

$$w = D\tau + \zeta + \eta$$

sendo: τ é o vetor de dimensão t contendo os efeitos de tratamentos (genótipos);
 D é a matriz de incidência pra τ com dimensões $(N \times t)$;
 ζ é o vetor de efeitos aleatórios de tendência, com dimensões $N = lc$;
 η é o vetor de erros localizados, com dimensões $N = lc$.

Assim, como exposto acima, a utilização da abordagem dos modelos mistos em conjunto da análise espacial pode ser uma alternativa interessante de detectar genótipos superiores, possibilitando, ao utilizar os valores genotípicos, realizar seleção entre e dentro das populações avaliadas no experimento, explorando assim ao máximo os recursos dessa modelagem estatística (DUARTE; VENCOSKY, 2001).

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho avaliar e ranquear as linhagens de quatro populações de tomateiros de fenótipo anão com frutos destinados à indústria, selecionando assim os indivíduos mais promissores, ou seja, com os melhores valores genotípicos (BLUP).

2.2 Material e métodos

2.2.1 Material genético

Em experimentos anteriores foram avaliadas as progênies F_2 derivadas de um dialelo parcial que teve como progenitores quatro acessos (linhagens) de fenótipo anão do Banco de Germoplasma de Hortaliças (BGH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e oito híbridos comerciais de tomate industrial escolhidos por terem alta produtividade, resistência à doenças e alta qualidade industrial dos frutos (SEUS, 2015). Com base nos dados obtidos foram selecionadas quatro combinações: “HMX-7889 x BGH-2006” e “N-901 x BGH-2006” priorizada em função da capacidade geral de combinação (CGC) para produção de frutos, “N-901 x BGH-2086” pela CGC para firmeza dos frutos e “H-9899 x BGH-2006” pela CGC para concentração de sólidos solúveis totais (SST) da polpa. Foram utilizados os valores da CGC para realização da seleção por essa estimativa indicar a presença de um maior ou menor número de alelos favoráveis nos indivíduos avaliados, apontando assim a capacidade dos genótipos selecionados em contribuir com um maior número desses alelos em uma população segregante.

Nas combinações “N-901 x BGH-2006” e “H-9899 x BGH-2006” foi realizada uma geração de retrocruzamento em suas progênies F_2 com plantas de porte anão, utilizando o híbrido comercial como genitor recorrente, a fim de aumentar a proporção de alelos favoráveis nas populações segregantes. Como o principal objetivo do projeto está na obtenção de tomateiros destinados ao processamento industrial com gene de nanismo, em F_2 ou RC_1F_2 , dependendo da população, foram selecionados indivíduos que apresentavam fenótipo anão em fase de bandeja, uma vez que o gene de nanismo é monogênico e expressa essa característica quando se encontram na forma recessiva dos alelos, já em fase de muda (MARIM, 2011).

Após essa etapa, as populações foram conduzidas pelo método de descendente de única semente (SSD) modificado com o intuito de manter o tamanho populacional, uma vez que a cultura sofre a incidência de um grande número de doenças, sendo então levadas três plantas representando a geração anterior, mas de apenas uma delas, escolhida aleatoriamente, foi retirada as sementes para uso na geração seguinte.

Foram denominadas populações A e C, as derivadas respectivamente dos cruzamentos “HMX-7889 x BGH-2006” e “N-901 x BGH-2086”, e as quais foram conduzidas até a geração F_4 . As gerações B e D, são as derivadas respectivamente das combinações entre “N-901 x BGH-2006” e “H-9899 x BGH-2006”, e foram conduzidas até RC_1F_4 , quando então foram abertas famílias $F_{4:5}$ e $RC_1F_{4:5}$, respectivamente, contendo oito plantas derivadas da geração

anterior. Dessa forma, a partir das quatro populações, foram avaliados neste experimento um total de 492 famílias, considerando todas as populações, como ilustra a Tabela 1.1.

Em adição, foram utilizados três híbridos comerciais como testemunhas do experimento: N-901 e U-2006 da Nunhems e o H-9889 da Heinz.

Tabela 1.1 – Esquema com as populações e suas origens, prioridade na escolha de seus progenitores (aptidão) e geração avaliada neste experimento.

Pop.	Progenitores	Aptidão	Famílias avaliadas	Geração avaliada
A	HMX-7889 x BGH-2006	Prod.	174	F _{4:5}
B	N-901 x BGH-2006	Prod.	157	RC ₁ F _{4:5}
C	N-901 x BGH-2086	Firm.	14	F _{4:5}
D	H-9889 x BGH-2006	SST	147	RC ₁ F _{4:5}

Pop.: Populações. Prod.: Produção de frutos por planta. Firm.: Firmeza dos frutos. SST: Teor de sólidos solúveis totais da polpa. RC: Retrocruzamento. F: Gerações de autofecundação.

2.2.2 Condução do experimento

Devido ao grande número de tratamentos a serem avaliados, foi utilizado delineamento em blocos aumentados (DBA), em que os genótipos estão presentes apenas uma vez no campo, exceto as três testemunhas, que foram repetidas seis vezes. A área foi então dividida em seis regiões homogêneas, simulando blocos, com os híbridos (testemunhas) aleatoriamente sorteados dentro de cada bloco.

Pelo número restrito de avaliadores, os genótipos foram divididos em seis sementeiras, realizadas semanalmente em bandejas de polietileno com substrato comercial, com início em 12/07/2017, sendo que em cada sementeira estava presente uma repetição das testemunhas. Os transplantios e as avaliações também foram realizadas espaçadas semanalmente, respeitando a data de semeio de cada genótipo.

Os transplantios foram realizados manualmente, após as mudas estarem com o primeiro par de folhas totalmente desenvolvido, indicando a maturidade fisiológica. O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) “Horta Nova”, campo experimental da UFV, no estado de Minas Gerais (20°45'44.8" Sul, 42°49'23.2" Oeste, a 664 m de altitude).

As parcelas continham oito plantas, tendo somente as seis plantas centrais avaliadas. O espaçamento utilizado foi de 0,8 m entre plantas da mesma linha e 1,2 m entre linhas. As linhas laterais e a primeira planta de cada linha foram consideradas bordaduras.

A irrigação foi realizada por aspersão e as plantas foram conduzidas de forma rasteira, ou seja, não foi realizado o tutoramento, respeitando o sistema de cultivo utilizado pelos agricultores para tomate com o fruto destinado à indústria. Os tratos culturais e fitossanitários, além do preparo do solo e adubações, foram realizados de acordo com as recomendações para a cultura (ALVARENGA, 2004; RIBEIRO, 1999).

2.2.3 Avaliações fenotípicas

Durante o início da frutificação, foram realizadas avaliações visuais nas plantas dos caracteres: compacidade e acamamento da copa, incidência de lesões por doenças e uniformidade das parcelas. Para cada característica foram atribuídas, por quatro avaliadores, notas de 1 a 5, sendo 1: muito bom, 2: bom, 3: médio, 4: ruim, 5: muito ruim. Ou seja, a nota 1 foi atribuída para cada caráter quando eram: porte compacto e ereto, sadias ou uniformes, e 5 quando as plantas se apresentavam: totalmente prostradas e com muitas ramificações, com muitas lesões ou a parcela continha plantas não uniformes.

Quando mais de 70% dos frutos do bloco estavam maduros, foi realizada a colheita, de forma manual. Posteriormente, foram aferidas as massas de todos os frutos produzidos por planta, gerando os dados de produção por planta (kg). Uma amostra de cinco frutos por parcela, coletados aleatoriamente, foram levados até o Laboratório de Manejo de Recursos Genéticos da UFV, onde inicialmente foi aferida a firmeza dos frutos (N), utilizando o penetrômetro digital com ponteira de 4 mm de diâmetro, modelo “PTR-300”. Em seguida, esses frutos coletados de cada parcela foram triturados em conjunto no liquidificador gerando o suco da polpa, do qual foi avaliado: teor de sólidos solúveis totais (SST) com refratômetro digital da marca “Hanna”, modelo “HI-96801” (em °Brix); potencial Hidrogeniônico (pH), com o pHmetro “pH 21-Hanna”; e viscosidade (consistência da polpa), com o consistômetro de Bostwick ($\text{cm } 10\text{s}^{-1}$).

2.2.4 Análises estatísticas

A predição seguiu a metodologia de modelos mistos, considerando os genótipos não comuns (famílias) como efeito aleatório e as testemunhas e bloco como efeito fixo. As estimativas dos componentes de variância foram obtidas pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) descrito por PATTERSON & THOMPSON (1971) e a predição dos valores genotípicos de cada indivíduo foi obtido pelo melhor preditor linear não viesado (BLUP) (HENDERSON, 1984):

$$y = X\beta + Z\gamma + \varepsilon$$

Com β reunido os efeitos fixos, no caso as testemunhas e blocos; em γ o efeito aleatório, no caso os genótipos; em ε , o dos erros experimentais, é modelado em função de um efeito de tendência (ξ) (erros espacialmente correlacionados) aleatórios.

Essas análises e os gráficos foram realizadas com o auxílio do *software* R (R CORE TEAM, 2019).

2.3 Resultados e discussão

Os valores genotípicos (Vg), representados por $\mu + g$, são estimados pela metodologia REML/BLUP e devem ser os preferíveis pelos melhoristas, uma vez que são os verdadeiros valores a serem preditos (BORGES et al., 2010).

Considerando os efeitos de tratamentos (genótipos) como aleatórios, não devem ser utilizados testes de comparação múltipla de médias, já que esses testes consideram os tratamentos como efeitos fixos, além de inferirem sobre médias fenotípicas e não genotípicas (RESENDE, 2004). Nesse caso então, utilizando modelos mistos e considerando genótipos como efeito aleatório, temos o ordenamento crescente ou decrescente dos genótipos em função dos seus valores genotípicos (DUARTE; VENCOVSKY, 2001), sendo esses diretamente utilizados na realização de seleção de indivíduos superiores.

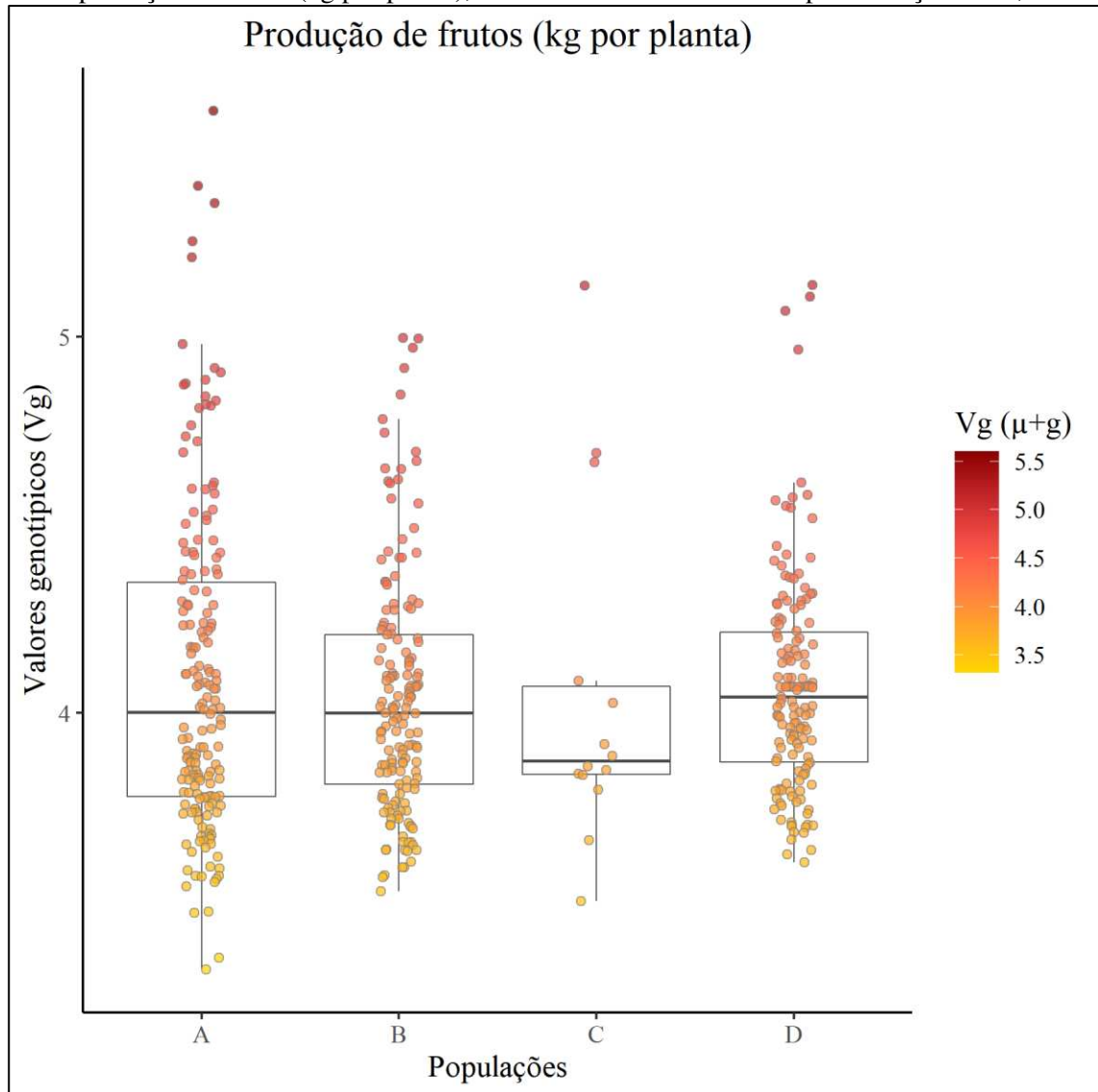
A média do caráter produção de frutos por planta foi de 4,07 kg. Na população A o valor genotípico predito (Vg) variou de 5,601 a 3,318; na população B variou de 4,998 a 3,526; na população C foi entre 5,130 e 3,499 e na população D variou entre 5,137 a 3,603 (Gráfico 1.1). Entre os 20 melhores genótipos, mais da metade (11) pertenciam a população A, demonstrando a superioridade desse cruzamento em comparação aos demais na geração de linhagens superiores. Porém, entre os 20 genótipos com as piores classificações, a maioria (13) também pertencia à população A, fato que, considerando a maior amplitude encontrada, demonstra que essa é a população que gerou maior variabilidade.

Esse caráter, por ser quantitativo, é controlado por um número grande de genes e, conseqüentemente, sofre grande influência do ambiente, desfrutando assim da vantagem de que pelo método BLUP o ordenamento e a seleção é realizada pela predição dos valores genéticos, isentos dos efeitos ambientais (RESENDE, 2002).

Era realmente esperado que a população A apresentasse uma amplitude dos valores genotípicos maiores que da população B, mesmo ambas tendo seus progenitores selecionados baseados na capacidade geral de combinação para produção de frutos. Isso porque a população B foi submetida a uma geração de retrocruzamento, aumentando assim a proporção do genoma recorrente, reduzindo a variabilidade genética na população segregante, mesmo que aumentando a média. A intenção do retrocruzamento estava em gerar linhagens com maior produção, uma vez que o genitor recorrente foi o híbrido comercial (mais produtivo), porém, mesmo assim, na população A (sem retrocruzamento) foram encontradas as linhagens com as maiores médias e valores genotípicos para esse caráter, o que se deve a, como dito

anteriormente, maior variabilidade encontrada nessa população ou mesmo ao maior número de famílias avaliadas.

Gráfico 1.1 –Valores genotípicos (BLUP) estimados e gráficos *boxplots* de cada população para o caráter produção de frutos (kg por planta), em tomateiros anões. Município de Viçosa-MG, 2017.

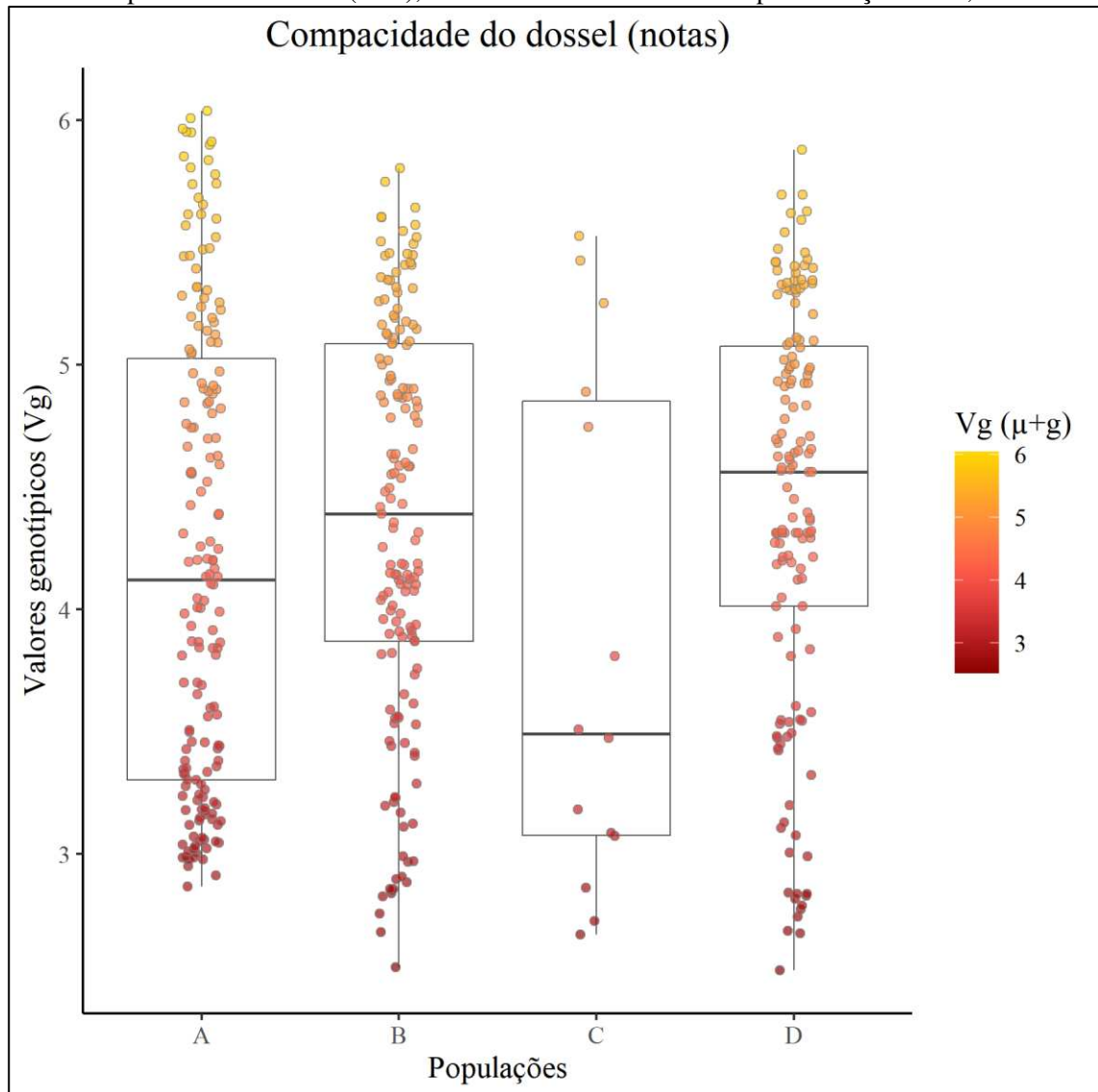


Fonte: Autor. Vg e $\mu+g$: valores genotípicos. μ : média geral do caráter. g: valores genotípicos previstos. Os pontos variando de amarelo (menores) para vermelho (maiores) indicam os Vg de cada família, para esse caráter. Populações A, B, C e D geradas a partir dos cruzamentos entre: “HMX-7889 x BGH-2006”, “N-901 x BGH-2006”, “N-901 x BGH-2086” e “H-9889 x BGH-2006”, respectivamente.

Para o caráter compacidade e acamamento do dossel (Gráfico 1.2), uma vez que é desejado plantas que se mantenham mais eretas, é interessante os valores genotípicos de menor magnitude, já que as notas mais baixas representavam plantas mais eretas, ou seja, os menores valores genotípicos indicam que os indivíduos acamaram menos. Na população A o valor genotípico predito (Vg) para compacidade variou de 2,867 a 6,039; na população B variou de

2,537 a 5,805; na população C foi entre 2,671 e 5,526; e na população D variou entre 2,524 a 5,881. Entre os 20 genótipos classificados como melhores, nenhum deles pertence a população A, em contrapartida, entre os piores genótipos, 15 pertencem a essa população, demonstrando que, comparativamente, esse cruzamento foi o que gerou plantas menos compactas e eretas, não sendo o mais indicado para realizar seleção de linhagens superiores para esse caráter.

Gráfico 1.2 –Valores genotípicos (BLUP) estimados e gráfico *boxplots* de cada população para o caráter compactidade do dossel (nota), em tomateiros anões. Município de Viçosa-MG, 2017.



Fonte: Autor. Vg e $\mu+g$: valores genotípicos. μ : média geral do caráter. g: valores genotípicos previstos. Os pontos variando de vermelho (menores) para o amarelo (maiores) indicam os Vg de cada família, para esse caráter. Populações A, B, C e D geradas a partir dos cruzamentos entre: "HMX-7889 x BGH-2006", "N-901 x BGH-2006", "N-901 x BGH-2086" e "H-9889 x BGH-2006", respectivamente.

O acamamento do dossel pode ser mais ou menos severo dependendo tanto de características ambientais (solos mais férteis, presença de mais ou menos vento), as quais não

são repassadas às gerações futuras; quanto de caracteres intrínsecos das planta, portanto genéticas, que podem ser transmitidos para gerações futuras e por isso são utilizados como estratégia pelos melhoristas, como a redução do porte dos indivíduos e caules mais fortes (JI-HUA et al., 2007).

Nesse experimento, durante a avaliação desse caráter, foi levado em consideração a compactidade do dossel como um todo, uma vez que, quanto mais compacto, menor o acamamento, sendo essa redução no tamanho resultante do gene de nanismo. Porém, mesmo esse gene reduzindo o tamanho do dossel, há outros caracteres que também influenciam na compactação e acamamento, como descrito acima. Desta maneira, provavelmente o progenitor não-anão da população A (HMX-7889) possuía genes que não favoreceram a compactação da copa como nas outras populações.

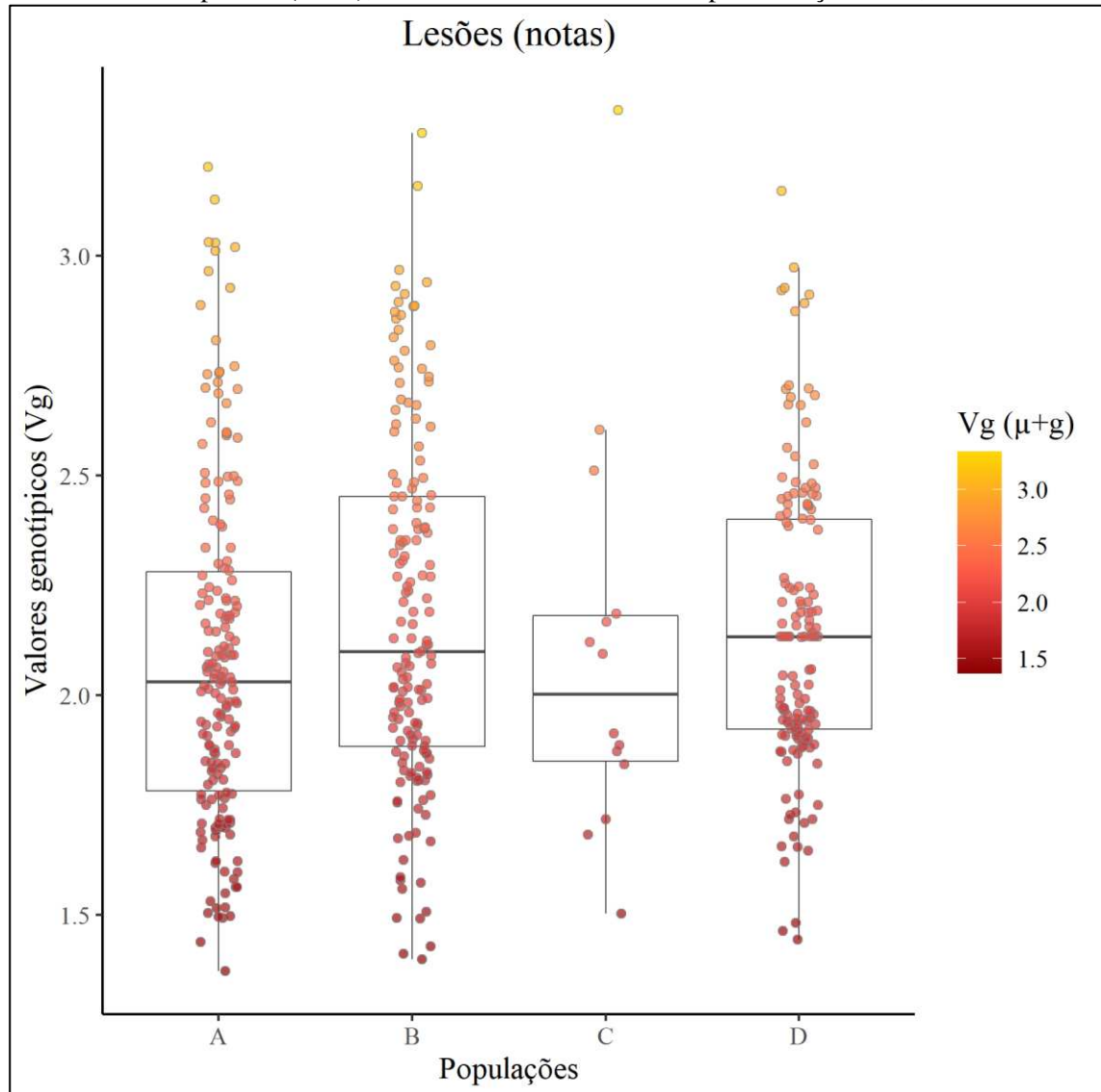
Para o caráter lesões visuais nas plantas (Gráfico 1.3) também era de interesse os menores valores genotípicos, uma vez que é desejado plantas menos lesionadas por pragas e doenças. Na população A o valor genotípico predito (V_g) para o caráter lesões variou de 1,373 a 3,203; na população B variou de 1,399 a 3,279; na população C foi entre 1,503 e 3,331; e na população D variou entre 1,444 a 3,148. Conseqüentemente, as quatro populações apresentaram uma amplitude dos valores genotípicos semelhantes, o que era esperado, uma vez que os híbridos comerciais utilizados como progenitores apresentavam um número similar de genes que conferem resistência as principais doenças.

Entre os 20 tratamentos que apresentaram os melhores valores genotípicos para produção de frutos, quatro deles (A82, A131, A175 e D31) também estão entre os vinte melhores para o caráter lesões, sendo assim plantas menos suscetíveis as doenças presentes naturalmente no ambiente desse experimento e com alta produção de frutos. As lesões no tomateiro são responsáveis por perdas significativas na produção e qualidade de frutos, assim, os produtores geralmente fazem uso de produtos químicos para evitar essas perdas e minimizar o risco de prejuízos financeiros (ALVARENGA, 2004). Uma forma de reduzir os gastos pela utilização desses produtos e por perdas causadas por patógenos, é a utilização de variedades com resistência genética a eles. Assumindo que as plantas menos lesionadas apresentam um maior número de genes que conferem resistência a doenças, as famílias que apresentaram os menores valores genotípicos podem ser selecionadas dentre as demais.

O caráter uniformidade das plantas dentro da parcela (Gráfico 1.4) foi avaliado por notas, uma vez que, na geração F_5 , ainda é possível existir variabilidade entre plantas dentro de famílias, dependendo de quão divergentes eram os progenitores e a porcentagem de homozigose

já fixada nos locos, já que isso ocorre de forma aleatória e independente. Quanto mais fixados os alelos (consequência da autofecundação), maior a uniformidade das plantas geradas, principalmente para os caracteres de alta herdabilidade (BORÉM; MIRANDA; FRIETSCHENETO, 2017).

Gráfico 1.3 –Valores genotípicos (BLUP) estimados e gráfico *boxplots* de cada população para o caráter lesões nas plantas (notas), em tomateiros anões. Município de Viçosa-MG, 2017.

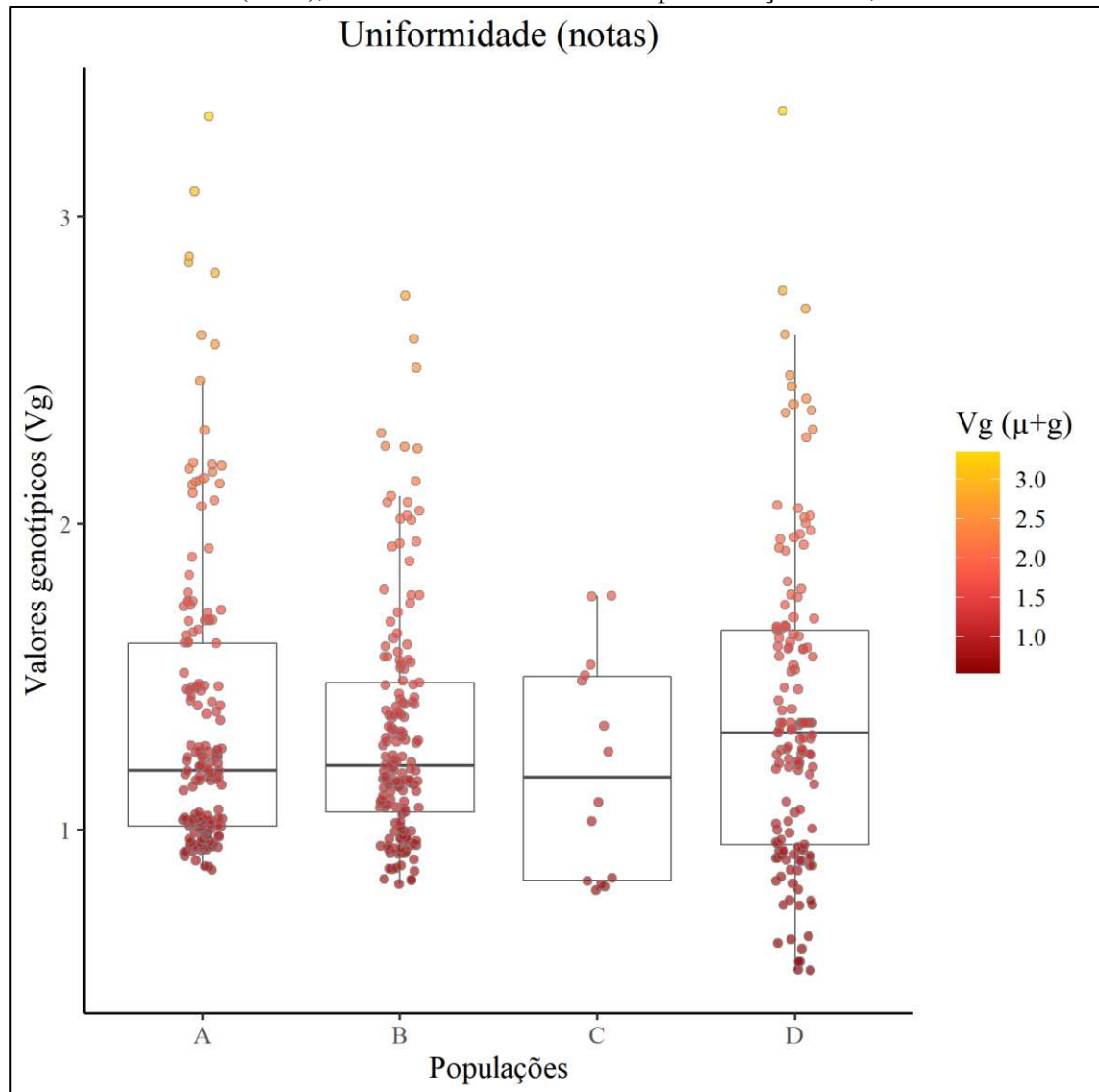


Fonte: Autor. Vg e $\mu+g$: valores genotípicos. μ : média geral do caráter. g: valores genotípicos previstos. Os pontos variando de vermelho (menores) para o amarelo (maiores) indicam os Vg de cada família, para esse caráter. Populações A, B, C e D geradas a partir dos cruzamentos entre: "HMX-7889 x BGH-2006", "N-901 x BGH-2006", "N-901 x BGH-2086" e "H-9889 x BGH-2006", respectivamente.

Os menores valores genotípicos representaram as parcelas mais uniformes, uma vez que foi dada nota 1 para as parcelas com plantas com fenótipo morfológico mais semelhantes e 5 para as que continham plantas mais discrepantes. Na população A o valor genotípico predito

para o caráter uniformidade variou de 0,869 a 3,329; na população B variou de 0,823 a 2,744; na população C foi entre 0,803 e 1,763; e na população D variou entre 0,541 a 3,347.

Gráfico 1.4 –Valores genotípicos (BLUP) estimados e gráfico *boxplots* de cada população para o caráter uniformidade (notas), em tomateiros anões. Município de Viçosa-MG, 2017.



Fonte: Autor. Vg e $\mu+g$: valores genotípicos. μ : média geral do caráter. g: valores genotípicos previstos. Os pontos variando de vermelho (menores) para o amarelo (maiores) indicam os Vg de cada família, para esse caráter. Populações A, B, C e D geradas a partir dos cruzamentos entre: "HMX-7889 x BGH-2006", "N-901 x BGH-2006", "N-901 x BGH-2086" e "H-9889 x BGH-2006", respectivamente.

A realização de seleção é mais eficiente em famílias que apresentem maior uniformidade, por gerarem uma descendência, provenientes da autofecundação, mais homogênea. A população D apresentou os genótipos com plantas mais uniformes, sendo as 13 plantas com menores valores genotípicos desse caráter provenientes dessa população. Isso pode ser consequência de os progenitores dessa população serem menos divergentes que nas demais

populações, ou também por consequência do retrocruzamento realizado, o que gera um estreitamento da variabilidade (BORÉM; MIRANDA; FRIETSCHE-NETO, 2017).

Entre os 20 genótipos que obtiveram os melhores valores genotípicos para produção de frutos (Tabela 1.2), 17 deles (A63, A82, A96, A110, A125, A129, A131, A152, A175, B5, B58, B77, C8, D30, D31, D83, D129) apresentam também os valores genotípicos previstos (*g*) de uniformidade negativos, o que é desejável, indicando que a seleção pode ser eficiente pois as progênes das plantas selecionadas irão segregar menos, ou seja, as descendentes (F_6) serão geneticamente semelhantes com a unidade de seleção (F_5).

A firmeza dos frutos (Gráfico 1.5) foi quantificada de acordo com a força necessária para perfurar o pericarpo. Dessa forma, quando maior o valor genotípico para firmeza, mais resistente são os frutos à deterioração mecânica. Na população A o valor genotípico predito para esse caráter variou de 15,480 a 13,817; na população B variou de 15,060 a 13,768; na população C foi entre 14,586 a 13,858; e na população D variou entre 15,403 a 13,772.

A firmeza dos frutos é importante pois valores maiores (frutos mais firmes) são mais resistentes a lesões físicas, além de aumentar o tempo de conservação pós-colheita e a resistência dos frutos durante o transporte (SOARES; RANGEL, 2012). A população C foi gerada utilizando progenitores selecionados por possuírem uma alta capacidade geral de combinação (concentração de alelos favoráveis) exatamente para esse caráter (SEUS, 2015).

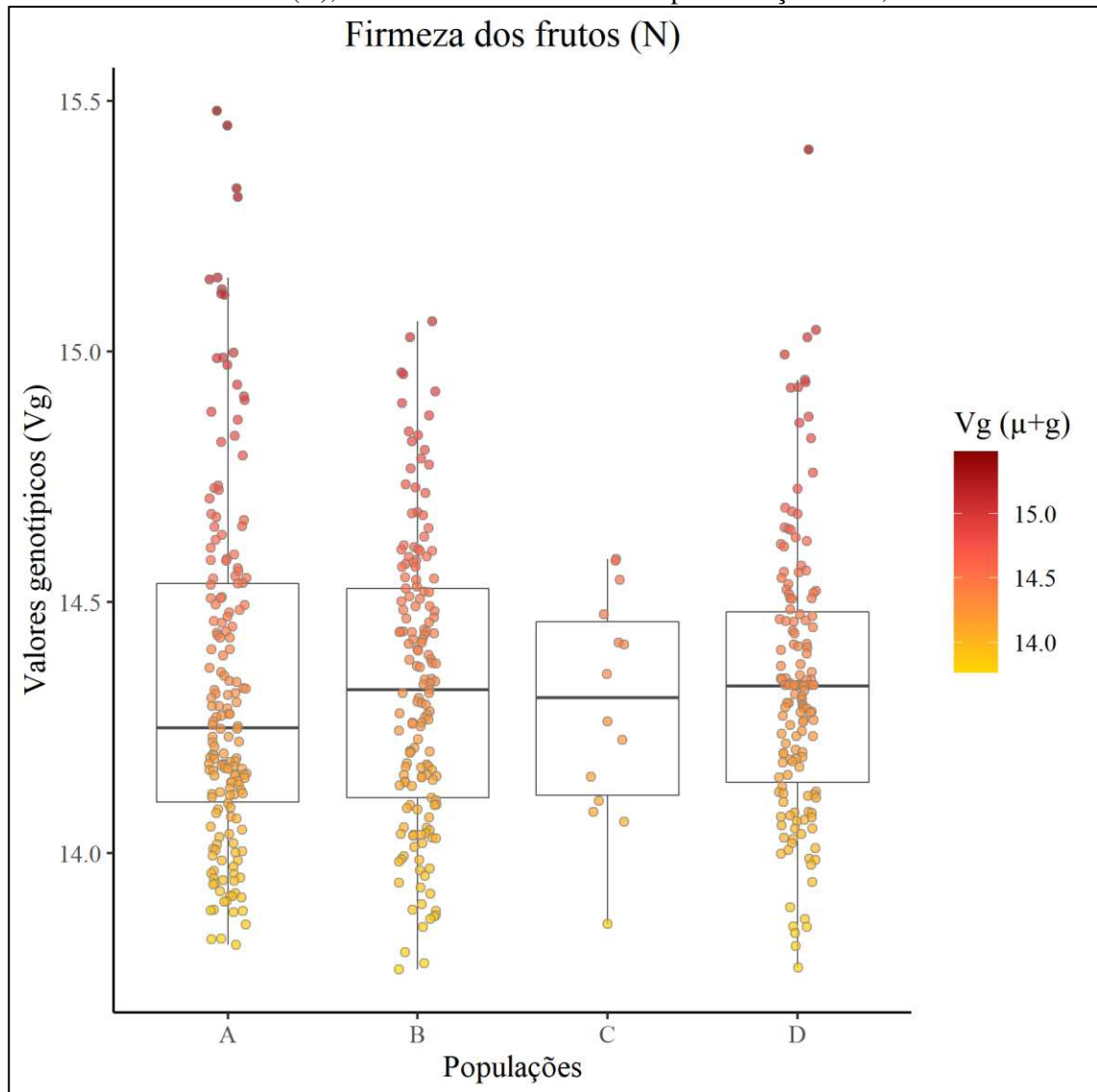
Porém, na classificação, entre os 20 genótipos com os maiores valores genotípicos, nenhum deles foi oriundo dessa população. Isso provavelmente ocorreu devido ao pequeno tamanho dessa população, com apenas 14 famílias, não possuindo assim nenhum que comparativamente se destacasse positivamente, enquanto as outras três populações possuíam cerca de 160 genótipos avaliados em cada. Entretanto, independente da população da qual os genótipos foram originados, é possível realizar seleção de indivíduos superiores para esse caráter utilizando os maiores valores genotípicos

O pH da polpa (Gráfico 1.6) está relacionado com a conservação dos produtos gerados na indústria com os frutos de tomate, sendo que, quanto menor o pH, mais fácil é a conservação, retardando assim a degradação do fruto, da polpa e dos produtos gerados na indústria (SOARES; RANGEL, 2012).

Na população A o valor genotípico predito para esse caráter variou de 4,051 a 4,605; na população B variou de 4,016 a 4,662; na população C foi entre 4,207 a 4,467; e na população D variou entre 4,150 a 4,540. Mesmo o melhor valor genotípico sendo de um genótipo

proveniente da população B, entre os 50 melhores, mais da metade (28) pertencem a população A, indicando que essa população tem uma grande concentração de alelos favoráveis para esse caráter.

Gráfico 1.5 –Valores genotípicos (BLUP) estimados e gráfico *boxplots* de cada população para o caráter firmeza dos frutos (N), em tomateiros anões. Município de Viçosa-MG, 2017.

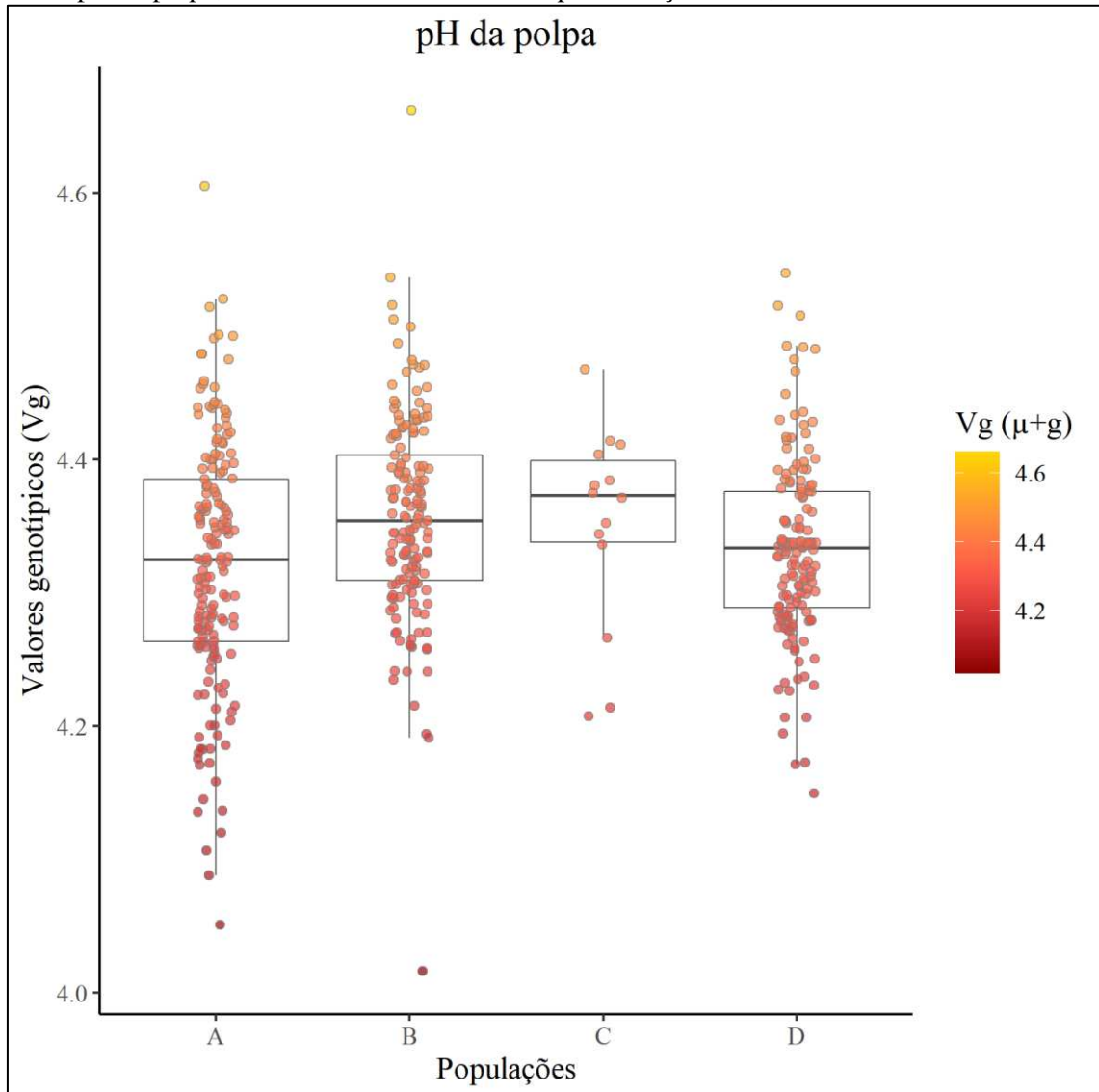


Fonte: Autor. Vg e $\mu+g$: valores genotípicos. μ : média geral do caráter. g: valores genotípicos previstos. Os pontos variando de amarelo (menores) para vermelho (maiores) indicam os Vg de cada família, para esse caráter. Populações A, B, C e D geradas a partir dos cruzamentos entre: “HMX-7889 x BGH-2006”, “N-901 x BGH-2006”, “N-901 x BGH-2086” e “H-9889 x BGH-2006”, respectivamente.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) da polpa (Gráfico 1.7) está relacionado com as substâncias que, em conjunto da acidez, conferem o sabor, sendo interessante valores de magnitude elevadas.

Na população A o valor genotípico predito para esse caráter variou de 5,109 a 4,333; na população B variou de 5,184 a 4,104; na população C foi entre 4,826 a 4,301; e na população D variou entre 5,004 e 4,158.

Gráfico 1.6 –Valores genotípicos (BLUP) estimados e gráfico *boxplots* de cada população para o caráter pH da polpa, em tomateiros anões. Município de Viçosa-MG, 2017.

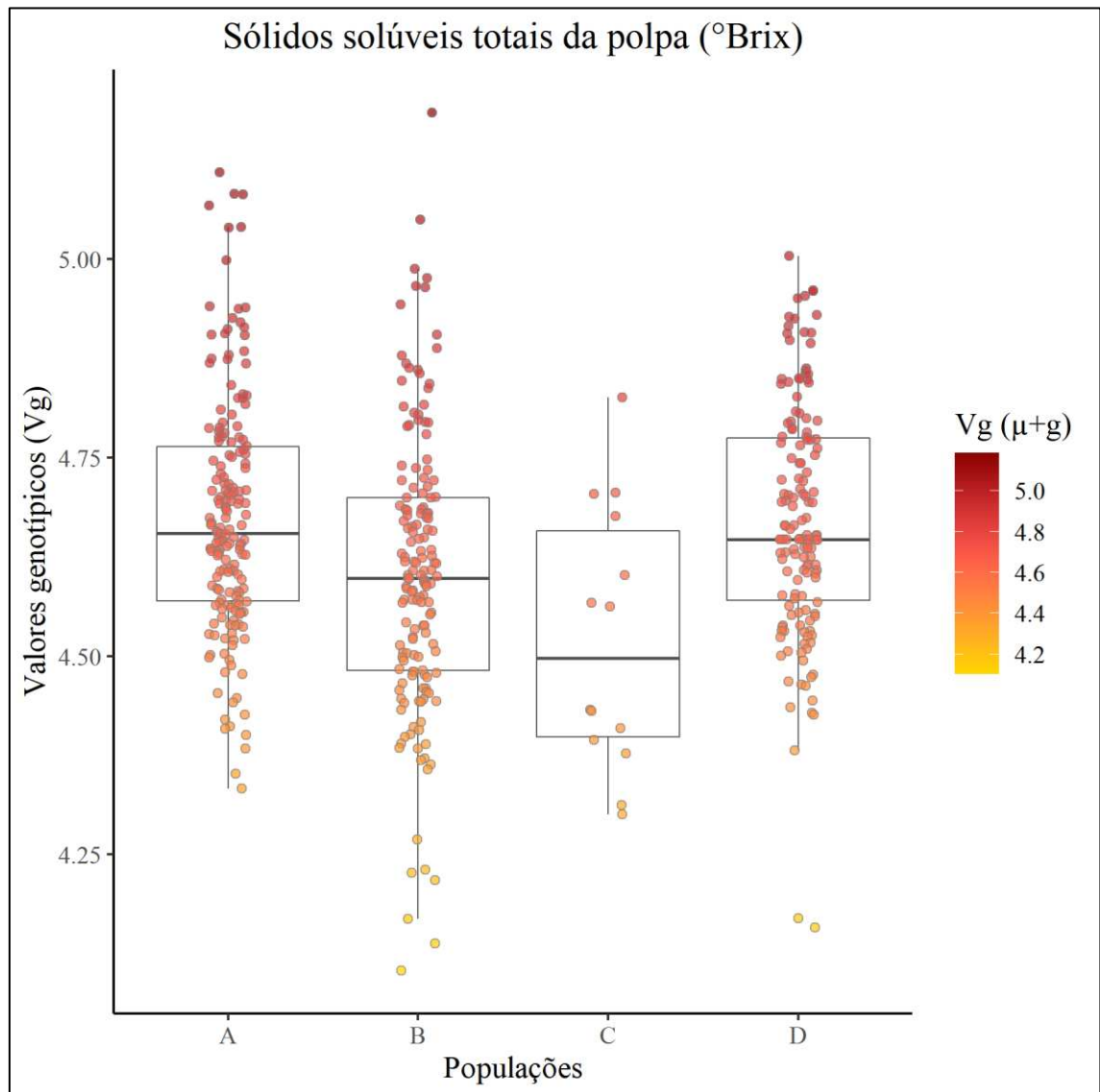


Fonte: Autor. Vg e $\mu+g$: valores genotípicos. μ : média geral do caráter. g: valores genotípicos previstos. Os pontos variando de vermelho (menores) para o amarelo (maiores) indicam os Vg de cada família, para esse caráter. Populações A, B, C e D geradas a partir dos cruzamentos entre: "HMX-7889 x BGH-2006", "N-901 x BGH-2006", "N-901 x BGH-2086" e "H-9889 x BGH-2006", respectivamente.

O teor de SST da polpa está intimamente relacionado com o rendimento da indústria na manufatura dos produtos derivados da polpa do tomate, como os molhos, *ketchups* e extratos, sendo que, quanto maior o grau Brix encontrado na polpa, maior o rendimento (GIORDANO; SILVA; BARBOSA, 2000). Esse caráter depende da genética da planta, estágio de maturação

do fruto e de fatores ambientais (MAROUELLI; R.; SILVA, 2012), dessa forma, a utilização dos valores genotípicos é importante para que o melhorista tenha acesso aos preditores livres dos efeitos ambientais.

Gráfico 1.7 –Valores genotípicos (BLUP) estimados e gráfico *boxplots* de cada população para o caráter sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa, em tomateiros anões. Município de Viçosa-MG, 2017.



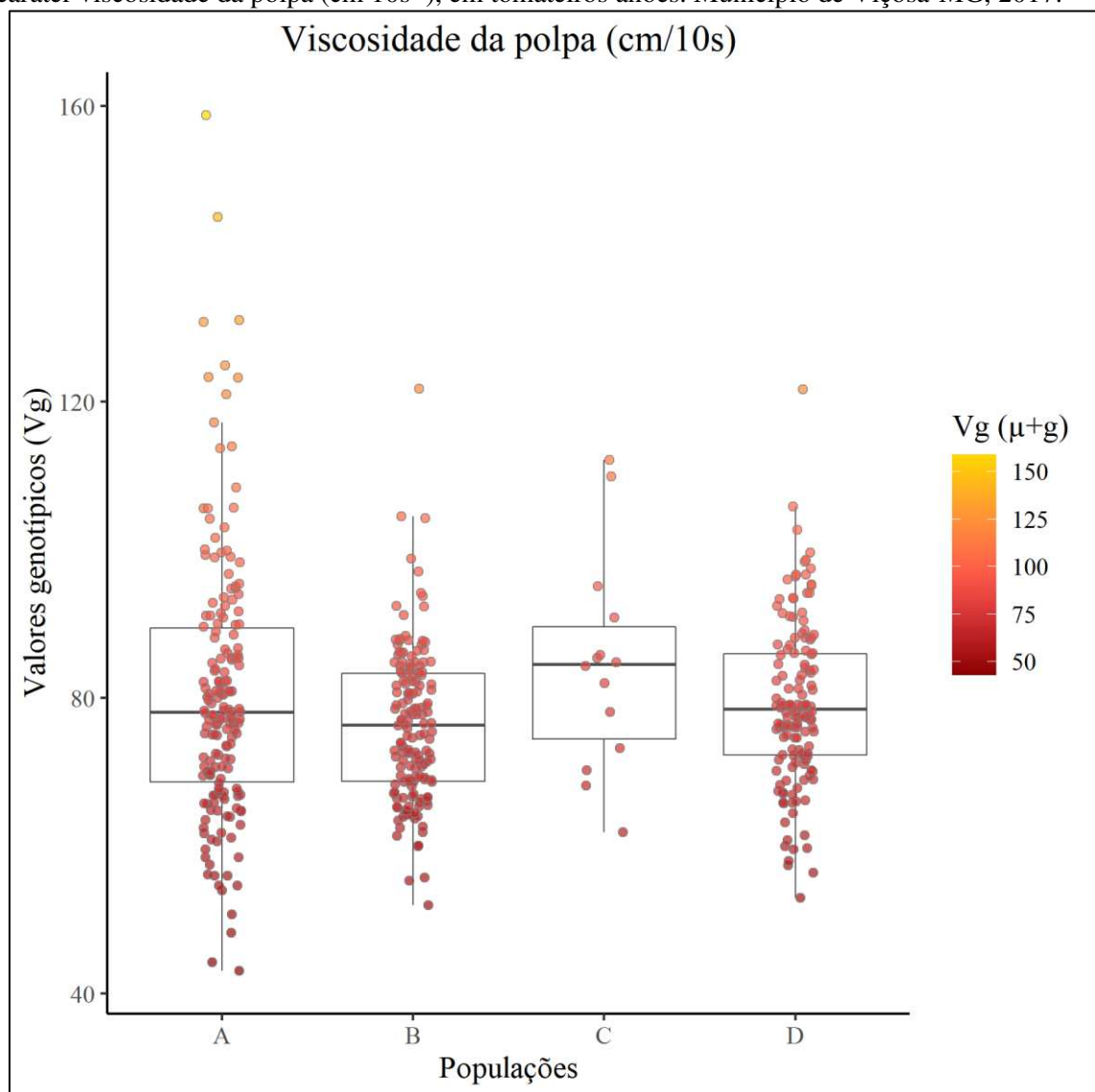
Fonte: Autor. Vg e $\mu+g$: valores genotípicos. μ : média geral do caráter. g: valores genotípicos previstos. Os pontos variando de amarelo (menores) para vermelho (maiores) indicam os Vg de cada família, para esse caráter. Populações A, B, C e D geradas a partir dos cruzamentos entre: “HMX-7889 x BGH-2006”, “N-901 x BGH-2006”, “N-901 x BGH-2086” e “H-9889 x BGH-2006”, respectivamente.

Das 20 linhagens com maior valor genotípico de SST apenas duas (D83 e D129) também estão entre os vinte melhores para o caráter produção. Isso era esperado, uma vez que outros estudos indicam que essas duas variáveis possuem correlação negativa (AZANZA et al., 1994; GRANDILLO; ZAMIR; TANKSLEY, 1999; TANKSLEY; HEWITT, 1988), sendo que

valores altos são desejáveis para ambas as variáveis. As duas linhagens que apresentam ótimos valores genotípicos para ambos os caracteres são pertencentes a população D, a qual realmente teve seus progenitores escolhidos por apresentarem uma elevada capacidade de combinação para SST, já sendo esperado então uma maior presença de alelos favoráveis para esse caráter.

Para manter a máxima eficiência técnica e econômica pela indústria é exigido que a matéria-prima, a polpa do tomate, possua alta viscosidade (Gráfico 1.8) (MELO; VILELA, 2005).

Gráfico 1.8 –Valores genotípicos (BLUP) estimados e gráfico *boxplots* de cada população para o caráter viscosidade da polpa ($\text{cm } 10\text{s}^{-1}$), em tomateiros anões. Município de Viçosa-MG, 2017.



Fonte: Autor. Vg e $\mu+g$: valores genotípicos. μ : média geral do caráter. g: valores genotípicos previstos. Os pontos variando de vermelho (menores) para o amarelo (maiores) indicam os Vg de cada família, para esse caráter. Populações A, B, C e D geradas a partir dos cruzamentos entre: “HMX-7889 x BGH-2006”, “N-901 x BGH-2006”, “N-901 x BGH-2086” e “H-9889 x BGH-2006”, respectivamente.

Como no experimento a viscosidade foi aferida de acordo com quanto a polpa percorria em uma canaleta durante 10 segundos, é de interesse os genótipos com os menores valores para esse caráter, ou seja, os que possuíam consistência da polpa menos liquefeita e mais pastosa. Na população A o valor genotípico predito para esse caráter variou de 43,069 e 158,765; na população B variou de 51,94 a 121,78; na população C foi entre 61,805 a 112,138; e na população D variou entre 52,953 e 121,680. Foi observado uma grande amplitude para os valores genotípicos dessa variável, devendo então ser levado em consideração durante a seleção de múltiplos caracteres, evitando assim selecionar genótipos que possuam bons valores genotípicos para outros caracteres e ruim para esse. Por exemplo, entre os 20 tratamentos com os melhores valores genotípicos para viscosidade, apenas um (A3) também está entre os 20 melhores para produção. Quando estendemos para os 50 melhores, apenas dois (A3 e B33) também são coincidentes para ambos os caracteres.

No geral, não há genótipos que obtiveram valores genotípicos superiores, quando comparados os 50 melhores, para a maioria dos caracteres. Por exemplo, os genótipos A74 e A179 ficaram classificados entre os 50 genótipos com os melhores valores genotípicos para produção e acamamento, porém o A74 não está entre os melhores em mais nenhum caráter e o A179 apenas para firmeza e pH.

Uma alternativa está na geração de híbridos que combinem genitores que possuam bons valores genotípicos para caracteres complementares, visando assim gerar indivíduos que reúnam boas performances como um todo. Por exemplo, seria de interesse realizar o cruzamento entre o genótipo A179 (produção, acamamento, firmeza e pH) com o A42 (SST, lesões e viscosidade), ou até mesmo de populações diferentes, utilizando assim genitores menos aparentados.

2.4 Conclusões

Para o caráter produção de frutos por planta, a população A se destacou, podendo ser selecionados genótipos com alta produtividade. Porém, essa população não apresentou genótipos bem ranqueados para compactação da copa.

Para a maioria dos caracteres houve, entre melhores genótipos, uma representação de todas as populações, sendo possível selecionar indivíduos entre e dentro das populações.

É possível realizar seleção de genótipos que podem ser complementares, geneticamente, para a geração de híbridos.

3 Capítulo II

AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE HÍBRIDOS DE TOMATEIRO INDUSTRIAL COM FENÓTIPO ANÃO

Resumo

FUMES, Leandro Augusto Andrade, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2020. **Avaliação e seleção de híbridos de tomateiro industrial com fenótipo anão.** Orientador: Derly José Henriques da Silva.

A presença do gene de nanismo em tomateiros tem como consequência a diminuição do tamanho do dossel, reduzindo o espaço ocupado pela planta, sendo assim possível utilizar uma quantidade maior de indivíduos por área cultivada, além disso, o nanismo também reduz o acamamento, o qual é prejudicial na colheita mecanizada pelo desgaste da colheitadeira ao ser utilizada muito rente ao solo e também favorece perdas na qualidade dos frutos, pois seu contato com o solo aumenta a incidência de patógenos. O objetivo foi selecionar a combinação híbrida de melhor desempenho, baseado em características morfológicas, agronômicas e de qualidade de frutos em tomateiros industrial com fenótipo anão. Em um dialelo parcial 6x5, 11 genótipos de tomateiros foram cruzados, gerando assim 30 híbridos, os quais foram analisados em um experimento em blocos casualizados, com quatro repetições. As médias dos híbridos foram agrupadas utilizando o teste Scott & Knott a 5%, a fim de serem comparadas com as testemunhas (pertencendo ou não ao mesmo grupo em cada caráter). Foram avaliados: diâmetro da copa, produção de frutos por planta, firmeza dos frutos, teor de sólidos solúveis totais, pH, coloração "a" e viscosidade da polpa. As estimativas geradas com os dados do dialelo parcial possibilitaram observar quais genitores continham um maior número de alelos favoráveis quando comparados aos demais para cada caráter. Em todos os caracteres foi possível separar as médias dos 30 híbridos em grupos, comparando-os com as testemunhas, possibilitando observar as melhores combinações ao enfatizar cada característica. Foram obtidos três híbridos (H-9, H-10, H-26) com dossel reduzido (de -14,7% a -27,3%), maior produção de frutos (de 31,6% a 47,9%) quando comparados com a melhor testemunha em ambos os caracteres, o HMX-7885, além de manterem a qualidade de fruto (sólidos solúveis totais). Além disso, com esta redução do dossel, seria possível implementar um número maior de plantas por hectare no campo e, por consequência, obtenção de ainda maiores produtividades, comprovando a eficiência na inserção do gene de nanismo na obtenção de híbridos de tomateiros superiores.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*. Dialelo parcial. Nanismo. Redução dossel.

Abstract

FUMES, Leandro Augusto Andrade, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September 2020. **Evaluation and selection of industrial tomato hybrids with dwarf phenotype.** Adviser: Derly José Henriques da Silva.

The presence of the dwarf gene in tomatoes has the effect of reducing the size of the canopy, reducing the space occupied by the plant, making it possible to use a larger number of individuals per cultivated area, in addition, dwarfism also reduces lodging, which it is harmful in mechanized harvesting due to the wear of the harvester when it is used close to the soil and also favors losses in the quality of the fruits, since its contact with the soil increases the incidence of pathogens. The objective was to select a hybrid combination with better performance, based on morphological, agronomic and fruit quality characteristics in industrial tomatoes with dwarf phenotype. In a 6x5 partial diallel, 11 tomato genotypes were crossed, thus generating 30 hybrids, which were analyzed in a randomized design experiment, with four replications. The averages of the hybrids were grouped using the Scott & Knott test at 5%, in order to be compared with the controls (belonging or not to the same group in each character). The following characters were evaluated: canopy diameter, fruit production per plant, fruit firmness, total soluble solids content, pH, "a" color and pulp viscosity. The estimates generated with the data of the partial diallel made it possible to observe which parents contained a greater number of favorable alleles when compared to the others for each character. In all characters it was possible to separate the averages of the 30 hybrids into groups, comparing them with the controls, making it possible to observe the best combinations when emphasizing each characteristic. Three hybrids were obtained (H-9, H-10, H-26) with reduced canopy (from -14.7% to -27.3%), greater fruit production (from 31.6% to 47.9%) when compared to the best control in both characters, the HMX-7885, also maintaining the fruit quality (total soluble solids). In addition, with this reduction in the canopy, it would be possible to implement a greater number of plants per hectare in the field, and consequently, obtain even greater productivity, proving the efficiency in the insertion of the dwarf gene in obtaining hybrids from better tomatoes.

Keywords: *Solanum lycopersicum*. Partial diallel. Dwarfism. Canopy reduction.

3.1 Introdução

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma planta autógama, pertencente à família das Solanáceas e possui o hábito de crescimento arbustivo. A arquitetura do tomateiro influencia diretamente o desempenho agrônômico e determina quais práticas de cultivo serão adotadas (FINZI et al., 2017). No caso de tomateiros com os frutos os destinados a indústria, não é realizado o tutoramento, procedimento no qual plantas com longos caules e ramificações são mantidas artificialmente eretas (CLEMENTE; BOITEUX, 2012).

Plantas de tomate com a parte aérea compacta possuem menos frutos em contato com o solo em razão de seus ramos menores, reduzindo também a necessidade de tutoramento ou poda (KEMBLE et al., 1994), podendo assim ser uma característica útil em cultivares desenvolvidas para processamento industrial dos frutos, além de facilitar a colheita, uma vez que possibilita a elevação da plataforma da colheitadeira e pela melhora na qualidade dos frutos, já que estão em menor contato com o solo e suscetíveis a patógenos.

A presença do gene de nanismo, além de reduzir o acamamento, propicia essa diminuição do tamanho do dossel da planta e, por consequência, o espaço ocupado por ela, sendo assim possível utilizar uma quantidade maior de plantas por área cultivada. Ao aumentar o adensamento de tomateiros, reduzindo o espaçamento, ocorre um acréscimo do número de frutos por planta e, conseqüentemente, um incremento na produção, uma vez que, mesmo em tomateiros sem o porte anão, aumentando a densidade de plantas no campo pode gerar um aumento na produção de frutos por unidade de área (ISMAIL; MOUSA, 2014; MACHADO; ALVARENGA; FLORENTINO, 2007; MASCHIO; SOUZA, 1982; WARNER; HAO; ZHANG, 2002).

A identificação de genitores que possuam superioridade na formação de descendentes quando combinados com indivíduos geneticamente contrastantes é fundamental para o melhoramento, uma vez que assim é possível gerar variabilidade e, conseqüentemente, permitir a seleção de genótipos com desempenho superiores (BORÉM; MIRANDA; FRIETSCHENETO, 2017). No caso, os genitores potencialmente úteis são variedades elites, as quais já passaram por intenso processo de melhoramento, e os acessos do banco de germoplasma, que podem ser fontes de genes ainda não exploradas (LUZ et al., 2016) como, por exemplo, o de nanismo em tomateiro para a indústria.

Entre as metodologias para auxiliar o melhorista na escolha dos genitores, uma alternativa amplamente utilizada em quase todas as espécies cultivadas é o cruzamento dialélico, o qual é interessante pois além de auxiliar na escolha de indivíduos a serem utilizados

como parentais, também pode fornecer informações sobre o controle genético das características (VEIGA; FERREIRA; RAMALHO, 2000).

Sprague e Tatum (1942) introduziram o conceito de capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC), sendo que a CGC quantifica o desempenho médio de uma linhagem na formação de híbridos e está relacionada a genes com efeitos aditivos. A CEC é utilizada para designar quais as combinações são relativamente melhores ou piores do que esperado como base no desempenho geral das linhagens envolvidas, indicando assim o grau de complementariedade dos genitores envolvidos, sendo relacionada aos efeitos não-aditivos (dominância e epistasia).

Os genes com efeitos aditivos são responsáveis pela variação fenotípica que é transmitida para as futuras gerações (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Já os genes com efeito não-aditivos são importantes na exploração de híbridos, uma vez que essas combinações pode ser explorada a ocorrência da heterozigose (efeito gênico de dominância ou sobredominância) (BORÉM; MIRANDA; FRIETSCHÉ-NETO, 2017).

Um dos pontos sensíveis na utilização de cruzamentos dialélicos está que o número de combinações geradas e que necessitam de avaliações aumentam junto do acréscimo no número de genitores testados, uma vez que em um dialelo completo todos os cruzamentos possíveis entre um conjunto de n genitores serão formados (RAMALHO et al., 2012), aumentando assim, proporcionalmente ao número de genitores, a dificuldade de avaliação desses experimentos mantendo a precisão experimental em níveis adequados. Uma alternativa está na utilização de dialelos parciais, em que os genitores são divididos em dois grupos e as combinações híbridas são obtidas entre os genótipos de um grupo somente com os do outro grupo, reduzindo consideravelmente o número de combinações a serem avaliadas, possibilitando testar um número maior de genitores (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Como, diferente de outras autógamias, geralmente são comercializados híbridos de tomateiro (CLEMENTE; BOITEUX, 2012), é interessante a realização de um dialelo em que os genótipos gerados podem ser estudados, não só do ponto de vista de entender os efeitos gênicos, como a avaliação fenotípica dos indivíduos *per se*, os quais podem ser cultivados comercialmente, aproveitando também das vantagens na ocorrência da heterozigose gerada em maior número quando combinados indivíduos contrastantes, sendo alocados assim, em cada grupo, indivíduos de *backgrounds* genéticos distintos (BORÉM; MIRANDA; FRIETSCHÉ-NETO, 2017).

Assim, objetivou-se com este trabalho selecionar a combinação híbrida de melhor desempenho, baseado em características morfológicas, agronômicas e de qualidade de frutos em tomateiros com fenótipo anão, considerando as estimativas de capacidades combinatórias obtidas de cruzamento dialélico parcial e das médias fenotípicas que são de interesse para os produtores e a indústria de tomate processado.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Material genético

Com base nos valores genéticos estimados pelo método da melhor predição linear não viesada (BLUP) de 492 linhagens de tomateiros com porte anão (Capítulo I), foram selecionados 11 genótipos, considerando os caracteres: produção, firmeza de frutos e acamamento/compacidade das plantas; sendo, este último, quando menor melhor.

Essas linhagens, escolhidas para desempenharem papel de genitores, foram divididas em dois grupos: um deles (G1) contendo seis genótipos (1, 2, 3, 4, 5 e 6), todos provenientes da população gerada entre os progenitores ‘HMX-7889 x BGH-2006’ eleitos principalmente pela alta produtividade. O segundo grupo (G2), com cinco genótipos (I, II, III, IV, V), sendo dois genótipos provenientes da população gerada entre os progenitores ‘N-901 x BGH-2006’, um da ‘N-901 x BGH-2086’ e dois da ‘H-9889 x BGH-2006’, onde os progenitores dessas populações foram escolhidos pelas estimativas da Capacidade Geral de Combinação (CGC) para os caracteres produção, firmeza e SST, havendo assim distinção entre os grupos G1 e G2 por serem provenientes de populações diferentes, afim de ter um amplo *background* genético.

Cada planta de um grupo foi cruzada com todas as plantas do outro grupo, em um esquema de dialelo parcial 6x5, gerando assim 30 combinações híbridas, como demonstrado no Esquema 1.

Esquema 1 – Esquema do dialelo parcial realizado entre dois grupos de genitores. Em negrito a nomenclatura dos híbridos nesse capítulo.

	Grupo 2				
	I	II	III	IV	V
Grupo 1	1 x I = H-1	1 x II = H-2	1 x III = H-3	1 x IV = H-4	1 x V = H-5
	2 x I = H-6	2 x II = H-7	2 x III = H-8	2 x IV = H-9	2 x V = H-10
	3 x I = H-11	3 x II = H-12	3 x III = H-13	3 x IV = H-14	3 x V = H-15
	4 x I = H-16	4 x II = H-17	4 x III = H-18	4 x IV = H-19	4 x V = H-20
	5 x I = H-21	5 x II = H-22	5 x III = H-23	5 x IV = H-24	5 x V = H-25
	6 x I = H-26	6 x II = H-27	6 x III = H-28	6 x IV = H-29	6 x V = H-30

Fonte: autor

3.2.2 Condução do experimento

Primeiramente, dez plantas de cada um dos 11 genitores foram conduzidas em casa de vegetação no campo experimental “Horta Velha” do departamento de Fitotecnia da UFV, no

município de Viçosa-MG (20°45'14" sul, 42°52'53" oeste, e 647 metros de altitude), durante o período de setembro a dezembro de 2018. Os cruzamentos foram realizados manualmente, durante o período da manhã. Os frutos foram colhidos quando maduros, seguido da retirada das sementes em conjunto da mucilagem, a qual foi deixada fermentando de 24h a 48h, sendo depois lavadas e as sementes secadas em temperatura ambiente.

As 30 combinações híbridas geradas e duas testemunhas, os híbridos comerciais N-901 e HMX-7885, escolhidos por apresentarem características de produção e qualidade de fruto competitivas no mercado, foram avaliadas também no campo experimental "Horta Velha", com as plantas sendo conduzidas sem tutoramento, utilizando-se irrigação por gotejamento, no período de março a agosto de 2019. Os tratos culturais e fitossanitários, além das adubações, foram realizados de acordo com as recomendações para a cultura (RIBEIRO, 1999).

Foi adotado o delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. As parcelas continham oito plantas dispostas em duas linhas, sob um espaçamento de 0,70 m entre plantas e 1,10 m entre as linhas duplas, sendo avaliadas somente as quatro plantas centrais.

3.2.3 Avaliações fenotípicas

No início da frutificação, foi avaliado nas plantas o diâmetro da copa, sendo aferido a maior e menor distância entre extremidades da copa, com uma fita métrica (cm), e realizado a média das duas medidas por planta.

Foram colhidos todos os frutos de cada uma das quatro plantas centrais da parcela, sendo aferido assim a produção de frutos por planta (kg). Dois frutos aleatórios totalmente maduros de cada planta foram levados até o Laboratório de Recursos Genéticos Vegetal da UFV onde primeiramente foi aferida a firmeza dos frutos (N), utilizando o penetrômetro digital com ponteira de 4 mm de diâmetro, modelo "PTR-300". Em seguida, os frutos de cada parcela foram triturados em conjunto no liquidificador gerando o suco da polpa, do qual foi avaliado: teor de sólidos solúveis totais (SST) com refratômetro digital da marca "Hanna", modelo "HI-96801" (°Brix); potencial Hidrogeniônico (pH), com o pHmetro "pH 21-Hanna"; coloração, com o colorímetro "Color Reader CR-10" da "Konica Minolta Optics", coletando o valor da coordenada "a", que indica o grau de verde (-a) e vermelho (+a), e viscosidade (consistência da polpa), com o consistômetro de Bostwick (cm 10s⁻¹).

3.2.4 Análises estatísticas

Para estimar a capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) das 30 combinações híbridas foi realizada a análise do dialelo parcial, contendo os F₁'s (GRIFFING, 1956), sob o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g'_j + s_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

onde: Y_{ij} é a média da combinação híbrida entre o i -ésimo genitor do grupo 1 e o j -ésimo genitor do grupo 2;

μ é a média geral; g_i é o efeito da CGC do i -ésimo genitor do grupo 1;

g'_j é o efeito da CGC do j -ésimo genitor do grupo 2,

s_{ij} é o efeito da CEC entre os genitores de ordem i do grupo 1 e j do grupo 2;

ε_{ij} é o resíduo experimental médio.

Posteriormente, foi realizada uma análise de variância individualmente para cada um dos caracteres descritos acima, considerando os 32 tratamentos (30 combinações híbridas e duas testemunhas), adotando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{(ij)k} = \mu + g_{(ij)} + b_k + \varepsilon_{ij}$$

onde: $Y_{(ij)k}$ é o valor do fenótipo da ij -ésima observação referente ao i -ésimo genótipo no j -ésimo bloco;

μ é a média geral;

$g_{(ij)}$ é o efeito do ij -ésimo genótipo;

b_k é o efeito do k -ésimo bloco;

ε_{ij} é o resíduo experimental.

Os caracteres que apresentavam efeito significativo no teste F foram submetidos ao teste de comparação de médias, pelo método de Scott-Knott a 5% de probabilidade, a fim de agrupar as médias e avaliar a possível superioridade dos genótipos entre si e comparado com as testemunhas (híbridos do mercado).

Todas as análises foram realizadas com auxílio do *software* Genes (CRUZ, 2013).

3.3 Resultados

3.3.1 Análise Dialélica

Na análise de variância do dialelo parcial houve efeito significativo de cruzamentos em todas as características avaliadas (Tabelas 2.1 e 2.2), demonstrando que há diferenças genéticas entre os híbridos e permitindo a decomposição de efeito de Tratamentos em capacidade geral e específica de combinação (CGC e CEC).

Tabela 2.1 – Resumo da análise de variância: estimativas dos quadrados médios das análises de variância da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) de cruzamento em dialelo parcial com linhagens de tomate com fenótipo anão com alta produtividade (G1) e com alta qualidade de fruto (G2) para os caracteres produção por planta, diâmetro do dossel e firmeza dos frutos. Viçosa, Minas Gerais, 2019.

Fonte de variação	GL	Produção por planta (kg)	Diâmetro do dossel (cm)	Firmeza do fruto (N)
Cruzamentos	29	4,103 **	916,71 **	5,375 *
CGC G1	5	17,436 **	4.074,58 **	16,887 **
CGC G2	4	2,814 **	464,30 **	5,871 ns
CEC 1x2	20	1,026 ns	217,73 **	2,397 ns
Resíduo	87	0,808	103,62	2,919

GL: graus de liberdade, ns: não significativo, * e **: significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.

Tabela 2.2 – Resumo da análise de variância: estimativas dos quadrados médios das análises de variância da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) de um cruzamento em dialelo parcial com linhagens de tomate com fenótipo anão com alta produtividade (G1) e com alta qualidade de fruto (G2) para os caracteres SST, pH, coloração e viscosidade da polpa. Viçosa, Minas Gerais, 2019.

Fonte de variação	GL	SST (°Brix)	pH	Coloração “a” da polpa	Viscosidade (cm 10s ⁻¹)
Cruzamentos	29	0,335 **	0,0074 **	9,952 **	770,63 **
CGC G1	5	0,758 **	0,0151 **	28,243 **	862,96 ns
CGC G2	4	0,694 **	0,0050 ns	4,108 ns	971,15 *
CEC 1x2	20	0,157 ns	0,0059 ns	6,548 ns	707,44 *
Resíduo	87	0,103	0,0043	4,357	378,65

GL: graus de liberdade, SST: teor de sólidos solúveis totais, ns: não significativo, * e **: significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.

As estimativas da CGC para os genitores de ambos os grupos foram significativas em todos os caracteres, exceto firmeza, pH e coloração “a” do suco no Grupo 2 e viscosidade no Grupo 1 (Tabelas 2.1 e 2.2), indicando que os genitores são menos divergentes para essas características nos respectivos grupos onde a CGC foi não significativa. Em relação a CEC não

houve efeito significativo para os caracteres produção, firmeza, sólidos solúveis totais, pH e coloração “a” do suco.

As demais características apresentaram efeito significativo da CEC (Tabelas 2.1 e 2.2), indicando efeitos gênicos não aditivos, com desvios de dominância ou epistasia.

Para o caráter produção por planta os maiores valores das estimativas da CGC foram positivos para os genótipos 2, 5 e 6 do Grupo 1 e os genótipos I, II e IV do Grupo 2 (Tabela 2.3). O híbrido H-9 (2xIV), resultante da combinação dos genitores com maior CGC também tem a estimativa da CEC positiva, indicando que esta combinação tem uma boa complementariedade de alelos e se destaca quando o foco é o aumento da produção por planta.

Tabela 2.3 – Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) em cruzamento em dialelo parcial com linhagens de tomate com fenótipo anão com alta produtividade (G1) e com alta qualidade de fruto (G2), em relação ao caráter produção de frutos por planta. Viçosa, Minas Gerais, 2019.

Genitores	CEC ^{ns}					CGC G1**
	I	II	III	IV	V	
1	0,170	0,088	0,212	-0,452	-0,018	-0,968
2	-0,570	0,550	-0,880	0,378	0,522	1,222
3	-0,589	-0,094	0,446	-0,063	0,300	-1,139
4	0,269	-0,523	0,676	-0,263	-0,159	-0,102
5	0,143	0,083	0,245	0,219	-0,690	0,236
6	0,577	-0,105	-0,700	0,181	0,047	0,752
CGC G2*	0,113	0,205	-0,460	0,382	-0,239	

ns: não significativo, * e **: significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.

Para a característica diâmetro do dossel (Tabela 2.4) é desejado que as estimativas da CGC e CEC sejam negativas, uma vez que o interesse é a redução do porte da planta. O efeito significativo da CGC para ambos os grupos indica que há linhagens com uma maior concentração de alelos favoráveis para esse caráter, ou seja, dentro de cada grupo há genitores com maior capacidade na redução da copa. No Grupo 1 os genótipos 1 e 3, e no grupo 2 os genótipos IV e V são os que possuem estimativas de CGC com maiores magnitude e em sentido negativo. Para CEC os melhores valores observados foram para os híbridos H-8 (2xIII), H-25 (5xV), H-19 (4xIV) e H-21 (5xI).

Para o caráter firmeza dos frutos, no Grupo 1, único significativo, os genitores 1, 3 e 5 foram os que apresentaram maiores valores na estimativa da CGC, indicando que possuem alelos favoráveis para esta característica (Tabela 2.5).

Tabela 2.4 – Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) de um cruzamento em dialelo parcial com linhagens de tomate com fenótipo anão com alta produtividade (G1) e com alta qualidade de fruto (G2), em relação ao caráter diâmetro do dossel. Viçosa, Minas Gerais, 2019.

Genitores	CEC **					CGC G1 **
	I	II	III	IV	V	
1	-0,795	1,454	-3,390	-1,089	3,821	-16,044
2	4,218	6,250	-10,752	2,952	-2,668	15,912
3	-4,611	-2,457	-2,021	3,526	5,563	-18,599
4	14,560	-0,344	-1,343	-8,861	-4,012	0,756
5	-8,008	-0,944	14,400	4,226	-9,674	8,918
6	-5,363	-3,959	3,105	-0,754	6,971	9,056
CGC G2 **	-0,623	1,000	6,907	-2,702	-4,582	

** : significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.

Tabela 2.5 – Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) de um cruzamento em dialelo parcial com linhagens de tomate com fenótipo anão com alta produtividade (G1) e com alta qualidade de fruto (G2), em relação ao caráter firmeza dos frutos. Viçosa, Minas Gerais, 2019.

Genitores	CEC ^{ns}					CGC G1 **
	I	II	III	IV	V	
1	0,216	0,357	0,366	-0,662	-0,277	0,602
2	-0,281	-0,257	-0,185	1,012	-0,289	-0,011
3	0,809	1,013	-0,645	-0,626	-0,551	0,776
4	-1,332	-0,121	0,026	0,238	1,190	-0,765
5	0,824	-1,440	0,494	-0,281	0,403	0,814
6	-0,235	0,447	-0,057	0,320	-0,475	-1,417
CGC G2 ^{ns}	0,286	0,730	-0,237	-0,344	-0,436	

ns: não significativo, **: significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.

Para o teor de sólidos solúveis totais da polpa, no Grupo 1 os genitores 2, 3 e 5 e, no Grupo 2, apenas no genitor I foram observadas estimativas positivas de CGC (Tabela 2.6). Não houve efeito significativo na estimativa da CEC para esse caráter.

Para o caráter pH, as estimativas de maior magnitude em sentido negativo da CGC foram observadas para os genitores 4, 5 e 6, com destaque para o último (Tabela 2.7). As estimativas da CGC para o Grupo 2, assim como a estimativa de CEC foram não significativas.

Tabela 2.6 – Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) de um cruzamento em dialelo parcial com linhagens de tomate com fenótipo anão com alta produtividade (G1) e com alta qualidade de fruto (G2), em relação ao caráter teor de sólidos solúveis totais da polpa. Viçosa, Minas Gerais, 2019.

Genitores	CEC ^{ns}					CGC G1 ^{**}
	I	II	III	IV	V	
1	-0,182	-0,185	0,240	-0,056	0,182	-0,144
2	-0,147	0,175	-0,325	0,179	0,117	0,096
3	0,039	0,079	0,129	0,133	-0,380	0,167
4	0,093	-0,160	0,140	-0,206	0,132	-0,094
5	0,063	0,160	-0,215	0,064	-0,073	0,236
6	0,133	-0,070	0,030	-0,116	0,022	-0,259
CGC G2 ^{**}	0,292	-0,155	-0,055	-0,034	-0,047	

ns, **: não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.

Tabela 2.7 – Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) de um cruzamento em dialelo parcial com linhagens de tomate com fenótipo anão com alta produtividade (G1) e com alta qualidade de fruto (G2), em relação ao caráter pH da polpa. Viçosa, Minas Gerais, 2019.

Genitores	CEC ^{ns}					CGC G1 ^{**}
	I	II	III	IV	V	
1	0,041	0,010	-0,017	0,019	-0,054	0,004
2	-0,036	0,017	-0,030	-0,013	0,061	0,019
3	-0,013	-0,008	0,023	-0,041	0,039	0,037
4	-0,025	-0,029	0,004	0,001	0,048	-0,007
5	-0,022	0,012	0,002	0,034	-0,027	-0,010
6	0,054	-0,003	0,018	-0,001	-0,069	-0,043
CGC G2 ^{ns}	0,011	0,012	-0,021	0,008	-0,010	

ns, **: não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.

Para coloração “a” da polpa, que indica a intensidade de vermelho (+a) e verde (-a), houve destaque na estimativa da CGC para os genótipos 1, 3 e 5 do Grupo 1 (Tabela 2.8), indicando que esses genitores possuem alelos favoráveis para aumentar a intensidade de vermelho e, conseqüentemente, o teor de licopeno nos frutos. Não houve efeito significativo para as estimativas da CGC para o Grupo 2, assim como para a estimativa de CEC.

Para o caráter viscosidade da polpa, não houve efeito significativo para a estimativa da CGC para o Grupo 1. No Grupo 2, o genótipo II possui a melhor estimativa da CGC, com alta magnitude e em sentido negativo. Na estimativa da CEC destaca-se a combinação híbrida H-12 (3xII) e H-21 (5xI), sendo que a primeira utiliza o genitor II, indicando que este possui alelos

favoráveis e complementares no aumento da viscosidade, ou seja, na maior consistência da polpa (Tabela 2.9).

Tabela 2.8 – Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) de um cruzamento em dialelo parcial com linhagens de tomate com fenótipo anão com alta produtividade (G1) e com alta qualidade de fruto (G2), em relação ao caráter coloração “a” da polpa. Viçosa, Minas Gerais, 2019.

Genitores	CEC ^{ns}					CGC G1 ^{**}
	I	II	III	IV	V	
1	0,599	-0,708	0,784	-0,954	0,279	0,346
2	0,054	0,597	-0,611	0,926	-0,966	-0,709
3	-2,030	2,005	0,672	-0,815	0,168	1,132
4	0,719	-0,213	0,154	-0,384	-0,276	-0,524
5	1,234	0,602	-2,181	1,081	-0,736	1,436
6	-0,576	-2,283	1,184	0,146	1,529	-1,679
CGC G2 ^{ns}	-0,259	0,698	-0,044	-0,356	-0,039	

ns, **: não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.

Tabela 2.9 – Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) de um cruzamento em dialelo parcial com linhagens de tomate com fenótipo anão com alta produtividade (G1) e com alta qualidade de fruto (G2), em relação ao caráter viscosidade da polpa. Viçosa, Minas Gerais, 2019.

Genitores	CEC [*]					CGC G1 ^{ns}
	I	II	III	IV	V	
1	13,139	2,924	6,382	-16,285	-6,160	-6,799
2	-6,061	-0,526	8,432	-9,235	7,390	-7,099
3	11,907	-22,018	-8,310	13,273	5,148	8,393
4	6,439	3,974	0,432	-7,485	-3,360	6,651
5	-21,211	8,574	-3,218	28,365	-12,510	-1,949
6	-4,211	7,074	-3,718	-8,635	9,490	0,801
CGC G2 [*]	5,011	-10,774	-0,482	2,435	3,810	

ns, *: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.

3.3.2 Desempenho dos híbridos

Na análise de variância houve efeito significativo de genótipos em todas as características avaliadas (Tabela 2.10 e 2.11), indicando que houve diferença de desempenho entre os híbridos testados.

Tabela 2.10 – Resumo da análise de variância: estimativas dos quadrados médios da análise de variância em relação aos caracteres de produção de frutos por planta (Produção), diâmetro do dossel (Diâmetro), e firmeza dos frutos (Firmeza). Viçosa, Minas Gerais, 2019.

Fonte de variação	GL	Produção (kg)	Diâmetro (cm)	Firmeza(N)
Blocos	3	21,655	1.654,44	9,526
Genótipos	31	3,859 **	1.102,32 **	13,659 **
Resíduo	93	0,858	112,30	2,917
Média		2,93	74,07	7,74
Mínimo		0,86	45,50	3,86
Máximo		8,21	141,75	16,53
CV (%)		31,59	14,31	22,06

GL: graus de liberdade, **: significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F, Média: valor médio das parcelas, Mínimo: menor valor observado dos híbridos, Máximo: maior valor observado nos híbridos, CV: coeficiente de variação.

Tabela 2.11 – Resumo da análise de variância: estimativas dos quadrados médios da análise de variância em relação aos caracteres de teor de sólidos solúveis totais (SST) do fruto, pH da polpa (pH), coloração “a” da polpa e consistência da polpa (Viscosidade). Viçosa, Minas Gerais, 2019.

Fonte de variação	GL	SST (°Brix)	pH	Coloração “a” da polpa	Viscosidade (mm 10s ⁻¹)
Blocos	3	0,167	0,0265	14,809	711,69
Genótipos	31	0,326 **	0,0073 *	9,706 **	885,79 **
Resíduo	93	0,108	0,0043	4,508	362,67
Média		3,62	4,26	29,74	92,03
Mínimo		2,50	4,07	22,40	52,00
Máximo		4,80	4,48	36,20	162,00
CV (%)		9,07	1,54	7,14	20,69

GL: graus de liberdade, * e **: significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente, Média: valor médio das parcelas, Mínimo: menor valor observado dos híbridos, Máximo: maior valor observado nos híbridos, CV: coeficiente de variação.

Para o caráter produção de frutos por planta, cinco híbridos (H-9, H-7, H-10, H-26 e H-29) produziram mais que as testemunhas, diferindo estatisticamente (Tabela 2.12). Os híbridos deste grupo tiveram uma produção de 47,9% a 27,7% superior à testemunha mais produtiva (HMX-7885).

Oito híbridos (H-27, H-24, H-6, H-30, H-22, H-21, H-16 e H-18) foram agrupados junto com as testemunhas, indicando que eles possuem uma capacidade produtiva semelhante aos híbridos comerciais de alto desempenho do mercado.

Os 17 híbridos restantes apresentaram, para esse caráter, um desempenho inferior às testemunhas.

Tabela 2.12 – Estimativa das médias de caracteres produção de frutos por planta (Produção), diâmetro do dossel e firmeza dos frutos, avaliados em 32 híbridos de tomateiro, agrupadas utilizando o teste de Scott-Knott (5%). Viçosa, Minas Gerais, 2019.

Gen.	Origem	Produção (kg)	Diâmetro do dossel (cm)	Firmeza dos frutos (N)
H-1	1 x I	2,23 c	54,63 c	8,51 b
H-2	1 x II	2,24 c	58,50 c	9,10 b
H-3	1 x III	1,70 c	59,56 c	8,14 b
H-4	1 x IV	1,87 c	52,26 c	7,00 c
H-5	1 x V	1,69 c	55,29 c	7,30 c
H-6	2 x I	3,68 b	91,60 a	7,40 c
H-7	2 x II	4,89 a	95,25 a	7,87 b
H-8	2 x III	2,79 c	84,16 b	6,97 c
H-9	2 x IV	4,89 a	88,25 b	8,06 b
H-10	2 x V	4,42 a	80,75 b	6,67 c
H-11	3 x I	1,31 c	48,15 c	9,24 b
H-12	3 x II	1,88 c	52,04 c	9,93 b
H-13	3 x III	1,76 c	58,38 c	7,30 c
H-14	3 x IV	2,09 c	54,32 c	7,21 c
H-15	3 x V	1,83 c	54,47 c	7,20 c
H-16	4 x I	3,19 b	86,78 b	5,60 c
H-17	4 x II	2,49 c	73,50 b	7,25 c
H-18	4 x III	3,03 b	78,41 b	6,43 c
H-19	4 x IV	2,93 c	61,28 c	6,54 c
H-20	4 x V	2,41 c	64,25 c	7,40 c
H-21	5 x I	3,40 b	72,38 b	9,33 b
H-22	5 x II	3,44 b	81,07 b	7,51 c
H-23	5 x III	2,93 c	102,32 a	8,48 b
H-24	5 x IV	3,75 b	82,53 b	7,60 c
H-25	5 x V	2,22 c	66,75 c	8,19 b
H-26	6 x I	4,35 a	75,16 b	6,04 c
H-27	6 x II	3,76 b	78,19 b	7,17 c
H-28	6 x III	2,50 c	91,16 a	5,70 c
H-29	6 x IV	4,23 a	77,69 b	5,97 c
H-30	6 x V	3,47 b	83,54 b	5,08 c
HMX-7885		3,31 b	103,41 a	15,28 a
N-901		3,18 b	104,28 a	10,35 b

Gen. = genótipos. Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Para o caráter diâmetro do dossel (Tabela 2.12) é desejado que os híbridos, por possuírem o gene de nanismo, apresentem um porte mais compacto e menor que os híbridos comerciais. O teste de Scott-Knott a 5% agrupou os híbridos em três conjuntos: No primeiro (conjunto a) estão quatro híbridos que não distinguiram das testemunhas. No segundo (conjunto

b) estão agrupados 13 híbridos, os quais possuem um diâmetro de dossel de 72,38 cm a 88,25 cm, ou seja, de 14,7% a 29,9% inferiores à testemunha de menor valor (HMX-7885), com 103,41cm. Ainda dentro desse conjunto, 11 genótipos tiveram uma produção estatisticamente igual ou superior as testemunhas, indicando que mesmo com a redução do dossel esses híbridos possuem alta produção de frutos. O terceiro conjunto (c), com 13 genótipos, os diâmetros dos dosséis foram ainda menores, de 35,4% a 53,4% inferiores à menor testemunha, porém, com produção de frutos também inferior.

Para o caráter firmeza dos frutos (Tabela 2.12) a testemunha HMX-7885 apresentou o maior valor (15,28 N), diferindo de todos os demais genótipos. No segundo conjunto (b) com maior firmeza, estão a testemunha N-901 e dez híbridos, com suas médias variando de 7,87 N a 9,93 N, indicando que esses genótipos (H-12, H-21, H-11, H-2, H-1, H-23, H-25, H-3, H-9, H-7) não diferiram estatisticamente do N-901, que possui firmeza elevada (segunda maior média para esse caráter).

No teor de sólidos solúveis totais da polpa (Tabela 2.13) também foram formados dois conjuntos pelo teste de Skott-Knott, sendo que no conjunto com os 20 genótipos contendo as maiores médias, elas variaram de 3,58° a 4,20°Brix. Ambas as testemunhas apresentaram a média de 3,85°Brix, valor 9,1% menor que o do híbrido H-21 (5xI), tratamento com melhor desempenho para essa característica.

Para o caráter pH é de interesse que as médias sejam as menores possíveis. Foi observado que 14 híbridos (Tabela 2.13) não diferenciaram estatisticamente suas médias da melhor testemunha (N-901), a qual apresentou o valor de 4,22. A outra testemunha ficou no conjunto distinto, apresentando um pH de maior magnitude. O melhor híbrido para essa característica foi o H-30 (6xV), com a média de 4,14.

O caráter coloração “a” da polpa indica o quão vermelho/verde é o objeto de estudo, sendo que quanto maior o valor desse caráter, maior a intensidade do vermelho e, também, maior o teor de licopeno presente, sendo uma forma indireta de quantificar esse carotenoide. As duas testemunhas e 12 híbridos não distinguiram estatisticamente suas médias entre si, indicando que possuem boa coloração os maiores níveis de licopeno dentre os genótipos avaliados (Tabela 2.13).

Finalmente, para o caráter viscosidade da polpa (Tabela 2.13), que avalia o quanto o suco do tomate percorre em uma canaleta graduada durante dez segundos, foram observadas médias entre 65,0 cm para o melhor genótipo, a testemunha HMX-7885, e 122,5 cm do híbrido H-24 (5xIV), sendo esse último menos consistente, e pior do ponto de vista industrial. As duas

testemunhas estão agrupadas no mesmo conjunto que não diferiu estatisticamente das médias de 20 híbridos, agrupando assim os melhores genótipos para esse caráter.

Tabela 2.13 – Estimativa das médias de caracteres teor de sólidos solúveis totais (SST) do fruto, pH, coloração “a” da polpa e consistência da polpa, avaliados em 32 híbridos de tomateiro, agrupadas utilizando o teste de Scott-Knott (5%). Viçosa, Minas Gerais, 2019.

Gen.	Cruzamento	SST (°Brix)	pH	Coloração “a” da polpa	Consistência (mm 10s ⁻¹)
H-1	1 x I	3,58 a	4,32 a	30,35 a	105,0 a
H-2	1 x II	3,13 b	4,29 a	30,00 a	79,0 b
H-3	1 x III	3,65 a	4,23 b	30,75 a	92,8 b
H-4	1 x IV	3,38 b	4,30 a	28,70 b	73,0 b
H-5	1 x V	3,60 a	4,21 b	30,25 a	84,5 b
H-6	2 x I	3,85 a	4,26 b	28,75 b	85,5 b
H-7	2 x II	3,73 a	4,31 a	30,25 a	75,3 b
H-8	2 x III	3,33 b	4,23 b	28,30 b	94,5 b
H-9	2 x IV	3,85 a	4,28 a	29,53 b	79,8 b
H-10	2 x V	3,78 a	4,34 a	27,95 b	97,8 a
H-11	3 x I	4,11 a	4,30 a	28,48 b	119,1 a
H-12	3 x II	3,70 a	4,31 a	33,50 a	69,3 b
H-13	3 x III	3,85 a	4,30 a	31,43 a	93,3 b
H-14	3 x IV	3,88 a	4,27 a	29,63 b	117,8 a
H-15	3 x V	3,35 b	4,33 a	30,93 a	111,0 a
H-16	4 x I	3,90 a	4,24 b	29,60 b	111,8 a
H-17	4 x II	3,20 b	4,24 b	29,63 b	93,5 b
H-18	4 x III	3,60 a	4,24 b	29,25 b	100,3 a
H-19	4 x IV	3,28 b	4,27 a	28,40 b	95,3 b
H-20	4 x V	3,60 a	4,30 a	28,83 b	100,8 a
H-21	5 x I	4,20 a	4,24 b	32,08 a	75,5 b
H-22	5 x II	3,85 a	4,28 a	32,40 a	89,5 b
H-23	5 x III	3,58 a	4,24 b	28,88 b	88,0 b
H-24	5 x IV	3,88 a	4,30 a	31,83 a	122,5 a
H-25	5 x V	3,73 a	4,22 b	30,33 a	83,0 b
H-26	6 x I	3,78 a	4,29 a	27,15 b	95,3 b
H-27	6 x II	3,13 b	4,23 b	26,40 b	90,8 b
H-28	6 x III	3,33 b	4,22 b	29,13 b	90,3 b
H-29	6 x IV	3,20 b	4,23 b	27,78 b	88,3 b
H-30	6 x V	3,33 b	4,14 b	29,48 b	107,8 a
HMX-7885		3,83 a	4,29 a	30,65 a	65,0 b
N-901		3,85 a	4,22 b	31,15 a	70,5 b

Gen. = genótipos. Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

3.4 Discussão

Para o caráter produção por planta, como foram observados efeitos significativos para as estimativas da CGC de ambos os grupos e não houve efeito significativo para CEC (Tabela 2.1), há o indicativo que esse caráter é controlado por genes de ação aditiva. As demais características, uma vez que apresentaram efeito significativo da CEC (Tabelas 2.1 e 2.2), é indicativo que os efeitos gênicos não aditivos, com desvios de dominância ou epistasia, foram importantes, o que é interessante, uma vez que se trata da utilização de híbridos, ou seja, indivíduos com genes em heterozigose (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

A estimativa da CGC do Grupo 1 foi maior quando comparada ao do Grupo 2 (Tabela 2.1) e, ainda dentro do primeiro grupo, os genótipos 2 e 6 foram os que apresentaram as estimativas da CGC de maior magnitude (Tabela 2.3), revelando que eles possuem um maior número de alelos favoráveis para esse caráter quando comparados aos demais, o que era de se esperar, uma vez que os indivíduos desse grupo foram selecionados priorizando a alta produção de frutos por planta. Isso é ainda confirmado na observação das médias das combinações híbridas em que essas linhagens participaram com genitores: quatro híbridos que tiveram o genótipo 2 e quatro híbridos que tiveram o genótipo 6 como parentais tiveram médias superiores ou que não diferiram estatisticamente das testemunhas (Tabela 2.12). Esses genitores apenas geraram híbridos com médias inferiores às testemunhas quando combinados com o genótipo III, o qual obteve a menor estimativa de CGC do Grupo 2 (Tabela 2.3), demonstrando que realmente essa linhagem possui menos alelos favoráveis para esse caráter.

O porte anão no tomateiro é uma característica monogênica, sendo que esse fenótipo é expresso quando ambos os alelos estão em sua forma recessiva, já sendo possível diferenciar plantas com essa característica na fase de mudas (MARIM, 2011).

Todos os genitores já possuíam o gene de nanismo em homozigose, pois, ainda em F₂ (populações provenientes dos cruzamentos entre ‘HMX-8559 x BGH-2006’ e ‘N-901 x BGH 2086’) e RC₁F₂ (populações provenientes dos cruzamentos entre ‘N-901 x BGH-2006’ e ‘H-9889 x BGH-2006’) já haviam sido selecionados, na fase de bandeja, apenas as plantas com fenótipo anão, levando em conta que todos os híbridos possuem o gene de nanismo.

Porém, como entre os híbridos gerados alguns (H-6, H-7, H-23 e H-28) apresentaram médias para diâmetro do dossel que não diferiram estatisticamente das testemunhas, de porte normal (Tabela 2.12), é possível que haja outros genes com efeitos menores ligados a características morfológicas que influenciam na compacidade do dossel, como tamanho das folhas e quantidade e tamanho de ramificações das hastes da planta, uma vez que não são

realizadas desbrotas em cultivo de tomate destinado à indústria. Essas características foram observadas no campo, o que explica o fato desses genótipos não serem tão compactos.

No conjunto que agrupa, pelo teste de Scott-Knott, os híbridos com as menores médias para o diâmetro do dossel, todos pertencem também aos menos produtivos, revelando que a demasiada compactação da parte aérea pode ser prejudicial à produção de frutos, resultado também encontrado na literatura (FRASCA et al., 2014).

No conjunto em que estão os híbridos com os dosséis de tamanho intermediário, não demasiadamente pequenos, mas estatisticamente menores que as testemunhas, encontram-se 13 combinações híbridas (Tabela 2.12). Sete (H-16, H-18, H-21, H-22, H-24, H-27, H-30) não distinguiram suas produções das testemunhas e quatro híbridos (H-9, H-10, H-26 e H-29) tiveram uma produção de frutos maior que as testemunhas, indicando que foi possível gerar plantas com um dossel menor e com alta produtividade. Isso torna possível um maior adensamento das plantas ao reduzir o espaçamento proporcionalmente a redução da copa, aumentando assim a produtividade (produção por área).

Como exemplo, o híbrido H-9 apresentou uma produção 48% maior e um dossel 15% menor que a testemunha mais produtiva (HMX-7885). Se esse híbrido fosse adensado na mesma proporção da redução do tamanho do dossel, seria possível uma população de 18.200 plantas por hectare e, conseqüentemente, uma produtividade estimada de 89,04 t ha⁻¹, valor 69,6% superior à testemunha no espaçamento convencional.

É importante que os frutos de tomate apresentem elevada firmeza, uma vez que essa característica confere resistência durante o transporte dos frutos do campo até a indústria, além de sofrer menos danos durante a colheita mecanizada (SOARES; RANGEL, 2012). Em relação a esse caráter, foi observado um maior valor da estimativa da CGC para o Grupo 1 comparado ao Grupo 2 (Tabela 2.1), indicando a predominância de alelos favoráveis nos genitores do primeiro grupo. De fato, os oito híbridos gerados com os frutos de maior firmeza possuíam os genitores 1, 3 ou 5 como parentais.

O fato das testemunhas apresentarem os maiores valores para esse caráter, indica que é possível reunir nos genótipos valores elevados tanto de firmeza quanto produção, inclusive, dois híbridos (H-7 e H-9) que não distinguiram estatisticamente a firmeza da testemunha HMX-7885 foram os genótipos mais produtivos do ensaio.

O nível de sólidos solúveis totais presentes nos frutos é de extrema importância para o tomate destinado à indústria, uma vez que está intimamente relacionado à eficiência no processamento. Sendo necessário que, além de alta produtividade os frutos apresentem níveis

de Brix elevados afim de permitir uma maior diluição nos custos de produção (SOARES; RANGEL, 2012).

As estimativas da CGC para SST foram superiores quando comparadas à CEC, a qual foi não significativa, indicando que a variável é influenciada por genes com efeitos de aditivos, sendo então importante utilizar ambos os genitores com médias altas. De fato, todos os híbridos que possuíam os genitores de maior CGC de cada grupo (5 do Grupo 1 e I do Grupo 2) estavam entre as maiores médias de SST, não diferindo estatisticamente das duas testemunhas. O híbrido H-21, resultante do cruzamento entre esses dois genitores, é o que possui o maior valor: 4,2 °Brix, sendo esse 9,1% maior que o valor encontrado pelas testemunhas, indicando estar presente neste genótipo genes favoráveis para esse caráter.

Os genitores IV e V, do Grupo 2, são oriundos de uma população onde os progenitores (H-9889 e BHG-2006), especialmente o parental comercial, apresentou alta CGC para SST (SEUS, 2015), sendo assim esperado que essas linhagens fossem apresentar uma CGC de maior magnitude nesse ensaio, demonstrando, conseqüentemente, maior importância. Porém, como eles foram selecionados considerando o valor genotípico (BLUP) para o caráter acamamento e compactação do dossel (Capítulo I) é possível que contenham menos genes favoráveis para concentração de SST comparado com os outros genitores que apresentam neste ensaio maiores estimativas de CGC e geraram híbridos superiores para essa variável, uma vez que as estimativas das capacidades combinatórias obtidas são válidas para o conjunto de genitores estudados (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

A mesma consideração pode ser feita para o genitor III do Grupo 2, pertencente a uma população onde os progenitores (N-901 e BHG-2086) foram selecionados por apresentar alta CGC para o caráter firmeza (SEUS, 2015), porém ele estava presente no grupo de genitores (Grupo 2) que não obteve uma estimativa de CGC significativa, indicando que dentro desse grupo não há divergência dos indivíduos quanto a concentrações de genes que favorecem esse caráter.

Para a variável pH da polpa é desejado que os valores sejam maiores que 4, pois valores inferiores resultariam em um sabor demasiadamente ácido, mas inferior a 4,5, para evitar a proliferação de microrganismos no produto e o maior gasto de energia na esterilização (MONTEIRO et al., 2008; SOARES; RANGEL, 2012). Para todos os genótipos os valores de pH ficaram dentro dessa faixa desejada pela indústria, variando de 4,14 a 4,30.

Apenas o Grupo 1 obteve estimativa significativa para a CGC, podendo ser indicado os genótipos 1, 2 e 3 como bons genitores, possuindo genes favoráveis para a acidificação da polpa.

Pelo teste de comparação de médias, os genótipos foram divididos em dois conjuntos, e em cada um deles está presente uma das testemunhas, sendo que ambas são consideradas referências para o caráter pH, assim como para todas as características ligadas à produção e qualidade de fruto, demonstrando que todos os híbridos gerados estão dentro da faixa esperada no programa de melhoramento.

A coloração da polpa é importante tanto do ponto de vista industrial, sendo inclusive classificatório, uma vez que a polpa pode ter seu valor determinado pela cor, quanto por indicar a maior presença de licopeno, sendo assim desejável que os frutos apresentem uma coloração vermelho intensa (SOARES; RANGEL, 2012). A quantificação dessa intensidade da cor vermelha da polpa dos frutos foi realizada com um colorímetro digital, o qual nos disponibiliza três valores: a coordenada “L”, que indica a luminosidade da cor (mais claro ou mais escuro), a coordenada “b”, que indica a intensidade de amarelo (+b) e azul (-b) e a coordenada “a”, que indica a intensidade de vermelho (+a) e verde (-a), sendo utilizado então os valores desta última, pois é de interesse frutos em que os valores sejam os maiores possíveis (intensidade maior de vermelho).

Apenas o Grupo 1 apresentou valores significativos para a coloração “a”, destacando o genitor 5, devendo esse possuir a maior presença de genes que favorecem a intensidade de vermelho. No mesmo conjunto das testemunhas encontram-se 12 híbridos, indicando que não diferiram estatisticamente e podem assim gerar frutos que atendam as demandas do mercado para a coloração.

Uma vez que a coloração da coordenada “a” é capaz de indicar indiretamente e de forma eficaz a concentração de licopeno (ARIAS et al., 2000), é possível afirmar que esses híbridos possuem elevado teor desse antioxidante, trazendo assim maiores benefícios para a saúde do consumidor, uma vez que o licopeno é considerado uma molécula que ajuda na prevenção de carcinogênese por proteger moléculas do corpo humano, como lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (AGARWAL; RAO, 2000; SHAMI; MOREIRA, 2004). Dessa forma, esses híbridos com maiores teor de licopeno (vermelho intenso) são de real interesse tanto para a indústria quanto para os consumidores (MELO; VILELA, 2005).

O caráter viscosidade ou consistência da polpa está relacionado à eficiência industrial na transformação dos frutos nos produtos industriais (molhos, extratos, *ketchups*, sucos e sopas)

uma vez que quanto maior a viscosidade um menor gasto energético na extração da água para a concentração da polpa é necessário (SOARES; RANGEL, 2012).

Nesse ensaio a viscosidade da polpa foi aferida pelo deslocamento do suco em uma canaleta, ou seja, quanto menos a polpa se deslocou, mais viscoso (consistente). Apenas o Grupo 2 foi significativo na análise dialélica, indicando que, nesse grupo, há genitores com maior potencial de melhora para essa característica, destacando-se o genitor II, com a CGC de maior magnitude em sentido negativo. O valor de alta magnitude da estimativa da CGC indica que essa linhagem possui alta frequência de alelos favoráveis para esse caráter (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Os 20 híbridos gerados com as melhores médias para esse caráter foram agrupados no mesmo conjunto que ambas as testemunhas estão presentes, no qual os valores variaram entre 65,0 a 95,3 mm.

Por fim, em todas as características foram obtidos híbridos com valores melhores ou que não distinguiram das testemunhas utilizadas como referência, demonstrando o sucesso desse programa de melhoramento que teve por propósito a inserção de gene de nanismo em tomateiro com frutos destinados à indústria.

Para a seleção do híbrido superior, é preciso considerar todos os caracteres avaliados. Ao priorizar o caráter produção, dentre os cinco genótipos que estatisticamente tiveram produção maior que das testemunhas, vale destacar o híbrido H-9, que, como dito anteriormente, apresentou uma produção 47,9% maior que a melhor testemunha, além de um dossel menor que das plantas sem gene de nanismo e boas características de qualidade de fruto, estimando-se assim, considerando 14% (proporção da redução da copa) de adensamento das plantas, uma produtividade de 89,04 t ha⁻¹, valor 69,6% maior comparado com o testemunha HMX-7885, com produtividade de 52,5 t ha⁻¹, além de possuir viscosidade, pH, firmeza e SST estatisticamente tão bons quanto das testemunhas utilizadas como referência no mercado desta hortaliça. Dessa forma, o híbrido H-9 pode ser indicado, com ou sem adensamento de plantas, como o melhor híbrido desse ensaio.

Porém, vale ressaltar que para confirmar a superioridade e ranquear adequadamente os genótipos deve-se realizar mais ensaios de campo com os melhores híbridos, possibilitando a avaliação em ambientes (locais e anos) diferentes, uma vez que a maioria das características importantes possuem grande influência do ambiente.

3.5 Conclusões

Dentre as linhagens utilizadas como genitoras é possível, para a maioria dos caracteres avaliados, selecionar as que contêm um maior número de alelos favoráveis.

Foram obtidos híbridos de dossel reduzido, alta qualidade de frutos e produção por planta superiores aos híbridos comerciais, o que permitiria também um maior número de plantas por hectare, gerando maiores produtividades, indicando a eficiência na inserção do gene de nanismo e a obtenção de híbridos superiores.

Levando em consideração as principais características de interesse e priorizando produção de frutos, foi possível elencar o híbrido H-9 como o indivíduo de melhor desempenho, podendo esse ser inovador dentro do setor comercial de tomate com os frutos destinados ao processamento industrial por apresentar alto desempenho e copa compacta.

4 Conclusões gerais

Com a utilização de acessos do Banco de Germoplasma de Hortaliças da UFV que apresentavam genótipo anão foi possível obter êxito na geração de populações com alta variabilidade genética e fenotípica, obtendo-se também indivíduos com uma copa mais compacta.

Nas populações geradas a partir do cruzamento entre tomateiros anões e híbridos comerciais foi possível selecionar indivíduos superiores quando utilizados modelos mistos no ranqueamento dos genótipos, considerando características morfológicas de plantas, produção e qualidade dos frutos.

Foram obtidos híbridos de porte compacto, os quais ocupam menores espaços durante o cultivo, e que possuem produção de frutos superiores quando comparados a híbridos comerciais atuais de alta produtividade, demonstrando grande potencial inovador dessas plantas de tomate para processamento.

Referências

- AGARWAL, S.; RAO, A. V. **Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases** *CMAJ* Canadian Medical Association, , 19 set. 2000.
- ALVARENGA, M. A. R. (ED.). **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: UFLA, 2004.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. DA; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, v. 31, n. 6, p. 1075–1084, dez. 2001.
- ARIAS, R. et al. 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. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 5, p. 1697–1702, maio 2000.
- AZANZA, F. et al. Characterization of the effect of introgressed segments of chromosome 7 and 10 from *Lycopersicon chmielewskii* on tomato soluble solids, pH, and yield. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 87, n. 8, p. 965–972, mar. 1994.
- BGH-UFV. **Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa**. Disponível em: <<http://www.bgh.ufv.br/index.php?pagina=colecacao&id=3>>. Acesso em: 12 maio. 2020.
- BISHOP, G. J.; HARRISON, K.; JONES, J. D. The tomato Dwarf gene isolated by heterologous transposon tagging encodes the first member of a new cytochrome P450 family. **The Plant Cell**, v. 8, n. 6, p. 959–969, jun. 1996.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRIETSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 7. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017.
- BORGES, V. et al. Seleção de clones de batata-doce pelo procedimento REML/BLUP. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 32, n. 4, p. 643–649, 2010.
- BUENO FILHO, J. S. DE S. **Modelos mistos na predição de valores genéticos aditivos em testes de progênies florestais**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 11 jan. 1997.
- CAMARGO, A. et al. Desenvolvimento do sistema agroindustrial do tomate. **Informações econômicas**, v. 36, p. 53–57, 2006a.
- CAMARGO, F. P. DE et al. Cadeia produtiva de tomate industrial no Brasil: resenha da década de 1990, produção regional e perspectivas. **Embrapa Hortaliças-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2006b.
- CHENG, H. Gibberellin regulates Arabidopsis floral development via suppression of DELLA protein function. **Development**, v. 131, n. 5, p. 1055–1064, 1 mar. 2004.
- CLEMENTE, F. M. V. T.; BOITEUX, L. S. **Produção de tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa, 2012.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271–276, 11 jul. 2013.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2012.

CULLIS, B. et al. Spatial Analysis of Multi-Environment Early Generation Variety Trials. **Biometrics**, v. 54, n. 1, p. 1, mar. 1998.

CULLIS, B. R.; GLEESON, A. C. Spatial Analysis of Field Experiments-An Extension to Two Dimensions. **Biometrics**, v. 47, n. 4, p. 1449, dez. 1991.

DEON, M.; RESENDE, V. DE; STURION, J. A. Análise estatística espacial de experimentos via modelos mistos individuais com erros modelados por processo ARIMA em duas dimensões. **Revista de matemática e estatística**, v. 21, n. 1, p. 7–33, 2003.

DUARTE, J. B. **Sobre o emprego e a análise estatística do delineamento em blocos aumentados no melhoramento genético vegetal**. Piracicaba: Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, 19 maio 2000.

DUARTE, J. B. **Especificação do modelo de análise estatística de dados quantitativos e suas implicações na seleção de genótipos em plantas**. Simpósio de estatística aplicada à experimentação agrônômica. **Anais...2005** Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/68/o/Seagro_2005.pdf>

DUARTE, J. B. **Biometria em genética e melhoramento de plantas: tendências e inquietações**. Simpósio de atualização em genética e melhoramento de plantas: a genética quantitativa e de populações no Brasil. **Anais...Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2010**

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. Estimação e predição por modelo linear misto com ênfase na ordenação de médias de tratamentos genéticos. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 109–117, 1 jan. 2001.

EMMANUEL, E.; LEVY, A. A. Tomato mutants as tools for functional genomics. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 5, n. 2, p. 112–117, abr. 2002.

FEDERER, W. T. Recovery of Interblock, Intergradient, and Intervariety Information in Incomplete Block and Lattice Rectangle Designed Experiments. **Biometrics**, v. 54, n. 2, p. 471, jun. 1998.

FEDERER, W. T.; RAGHAVARAO, D. On Augmented Designs. **Biometrics**, v. 31, n. 1, p. 29, mar. 1975.

FELIPE, C. R. P.; DUARTE, J. B. Comparison of estimation and prediction methods of genotypic means in maize variety trials. **Cropp Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, n. 2, p. 147–153, 30 jun. 2010.

FINZI, R. R. et al. Growth habit in mini tomato hybrids from a dwarf line. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 1, p. 52–56, 2017.

FISHER, R. A. Theory of Statistical Estimation. **Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society**, v. 22, n. 5, p. 700–725, 24 jul. 1925.

FRASCA, A. C. et al. Effect of Plant Population and Breeding Lines on Fresh-market, Compact Growth Habit Tomatoes Growth, Flowering Pattern, Yield, and Postharvest Quality. **HortScience**, v. 49, n. 12, p. 1529–1536, 1 dez. 2014.

FUJIOKA, S.; YOKOTA, T. Biosynthesis and Metabolism of Brassinosteroids. **Annual Review of Plant Biology**, v. 54, n. 1, p. 137–164, jun. 2003.

GIORDANO, L. B.; SILVA, J. B. C.; BARBOSA, V. Escolha de cultivares e plantio. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (Eds.). . **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa, 2000. p. 36–59.

GRAÇA, A. J. et al. Heterosis and combining ability of dual-purpose tomato hybrids developed to meet family farmers' needs in Brazil and Mozambique. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 339–344, set. 2015.

GRANDILLO, S.; ZAMIR, D.; TANKSLEY, S. D. Genetic improvement of processing tomatoes: A 20 years perspective. **Euphytica**, v. 110, n. 2, p. 85–97, 1999.

GRIFFING, B. Concept of General and Specific Combining Ability in Relation to Diallel Crossing Systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v. 9, n. 4, p. 463, 1956.

HARBERD, N. P.; BELFIELD, E.; YASUMURA, Y. The Angiosperm Gibberellin-GID1-DELLA Growth Regulatory Mechanism: How an “Inhibitor of an Inhibitor” Enables Flexible Response to Fluctuating Environments. **The Plant Cell**, v. 21, n. 5, p. 1328–1339, maio 2009.

HEDDEN, P. The genes of the Green Revolution. **Trends in Genetics**, v. 19, n. 1, p. 5–9, jan. 2003.

HENDERSON, C. R. **Applications of linear models in animal breeding**. Guelph: University of Guelph, 1984.

ISMAIL, S. M.; MOUSA, M. A. A. OPTIMIZING TOMATO PRODUCTIVITY AND WATER USE EFFICIENCY USING WATER REGIMES, PLANT DENSITY AND ROW SPACING UNDER ARID LAND CONDITIONS. **Irrigation and Drainage**, v. 63, n. 5, p. 640–650, dez. 2014.

JASINSKI, S. et al. PROCERA encodes a DELLA protein that mediates control of dissected leaf form in tomato. **The Plant Journal**, v. 56, n. 4, p. 603–612, nov. 2008.

JI-HUA, T. et al. Genetic dissection of plant height by molecular markers using a population of recombinant inbred lines in maize. **Euphytica**, v. 155, n. 1–2, p. 117–124, 2 abr. 2007.

KEMBLE, J. M. et al. Spacing, Root Cell Volume, and Age Affect Production and Economics of Compact-growth-habit Tomatoes. **HortScience**, v. 29, n. 12, p. 1460–1464, dez. 1994.

- KOORNNEEF, M. et al. The isolation and characterization of gibberellin-deficient mutants in tomato. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 80, n. 6, p. 852–857, 1990.
- LEDO, F. J. DA S. et al. Comportamento de seis cultivares de tomate de crescimento determinado, sob três sistemas de condução da planta, na produção de frutos para consumo in natura. **Revista Ceres**, v. 42, n. 240, p. 218–224, 1995.
- LIMA, J. E. et al. Micro-MsK: a tomato genotype with miniature size, short life cycle, and improved in vitro shoot regeneration. **Plant Science**, v. 167, n. 4, p. 753–757, out. 2004.
- LUZ, J. M. Q. et al. Desempenho e divergência genética de genótipos de tomate para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 483–490, 1 out. 2016.
- MACHADO, A. Q.; ALVARENGA, M. A. R.; FLORENTINO, C. E. T. Produção de tomate italiano (saladete) sob diferentes densidades de plantio e sistemas de poda visando ao consumo in natura. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 2, p. 149–153, abr. 2007.
- MARIM, B. G. **Herança do porte e do hábito de crescimento em tomateiro e seleção de plantas anãs para produtividade**. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 2011.
- MAROUELLI, W. A.; R., DA S. H.; SILVA, W. D. C. **Irrigação do tomateiro para processamento**. BrasíliaEmbrapa Hortaliças, , 2012.
- MARTI, E. Genetic and physiological characterization of tomato cv. Micro-Tom. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 9, p. 2037–2047, 31 jan. 2006.
- MASCHIO, L. M.; SOUZA, G. F. DE. Adubação básica, nitrogênio em cobertura, espaçamento e desbrota, na produção do tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 9, p. 1309–1315, 1982.
- MATSUKURA, C. et al. Comprehensive Resources for Tomato Functional Genomics Based on the Miniature Model Tomato Micro-Tom. **Current Genomics**, v. 9, n. 7, p. 436–443, 1 nov. 2008.
- MELO, P. C. T. DE; VILELA, N. J. Desafios e perspectivas para a cadeia brasileira do tomate para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 1, p. 154–157, mar. 2005.
- MONTEIRO, C. S. et al. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “tipo italiano”. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 1, p. 25–31, 2008.
- MORI, M. et al. Isolation and Characterization of a Rice Dwarf Mutant with a Defect in Brassinosteroid Biosynthesis. **Plant Physiology**, v. 130, n. 3, p. 1152 LP – 1161, 1 nov. 2002.
- MUANGPROM, A. et al. A Novel Dwarfing Mutation in a Green Revolution Gene from Brassica rapa. **Plant Physiology**, v. 137, n. 3, p. 931–938, mar. 2005.
- PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of Inter-Block Information when Block Sizes are Unequal. **Biometrika**, v. 58, n. 3, p. 545, dez. 1971.
- PELTON, J. S. Genetic and morphogenetic studies of angiosperm single-gene dwarfs. **The**

Botanical Review, v. 30, n. 3, p. 479–512, jul. 1964.

PHINNEY, B. O. Gibberellin A1 dwarfism and shoot elongation in higher plants. **Biologia plantarum**, v. 27, n. 2–3, p. 172, 1985.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing** Vienna R Foundation for Statistical Computing, , 2019. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012.

RESENDE, M. D. V. DE. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa, 2002.

RESENDE, M. D. V. DE. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Documentos ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2004.

RESENDE, M. D. V. **Análise estatística de modelos mistos via REML/BLUP na experimentação em melhoramento de plantas perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000.

RIBEIRO, A. C. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação**. Viçosa: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, 1999.

RICHARDS, D. E. et al. HOW GIBBERELLIN REGULATES PLANT GROWTH AND DEVELOPMENT: A Molecular Genetic Analysis of Gibberellin Signaling. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 52, n. 1, p. 67–88, 1 jun. 2001.

RICK, C. M. The Grafting Relations of Wilty Dwarf, a New Tomato Mutant. **The American Naturalist**, v. 86, n. 828, p. 173–184, maio 1952.

RUTGER, J. N.; PETERSON, M. L. Improved short stature rice. **California Agriculture**, v. 30, n. 6, p. 4–6, 1 jun. 1976.

SCOTT, J. W.; HARBAUGH, B. K. Micro-Tom. A miniature dwarf tomato. **Circular—University of Florida. Agricultural Experiment Stations**, n. 370, 1989.

SEARLE, S.; CASSELLA, G.; MCCULLOUGH, C. **Variance Components**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1992.

SEUS, R. **Introgresão de nanismo em germoplasma de tomate industrial**. [s.l.] (Tese) Universidade Federal de Viçosa, 2015.

SGN. **Solanaceae Genomics Network**. Disponível em: <<https://solgenomics.net/search/locus>>. Acesso em: 11 jun. 2020.

SHAMI, N. J. I. E.; MOREIRA, E. A. M. Licopeno como agente antioxidante. **Revista de Nutrição**, v. 17, n. 2, p. 227–236, jun. 2004.

SOARES, B. B.; RANGEL, R. Aspectos industriais da cultura. In: CLEMENTE, F. M. V. T.; BOITEUX, L. S. (Eds.). . **Produção de tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2012. p. 311–344.

SPRAGUE, G. F.; TATUM, L. A. General vs. Specific Combining Ability in Single Crosses of Corn. **Agronomy Journal**, v. 34, n. 10, p. 923–932, out. 1942.

SUN, H.-J. et al. A Highly Efficient Transformation Protocol for Micro-Tom, a Model Cultivar for Tomato Functional Genomics. **Plant and Cell Physiology**, v. 47, n. 3, p. 426–431, 1 mar. 2006.

TANKSLEY, S. D.; HEWITT, J. Use of molecular markers in breeding for soluble solids content in tomato — a re-examination. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 75, n. 5, p. 811–823, maio 1988.

TGRC. **Tomato Genetics Resource Center**. Disponível em:

<<https://tgrc.ucdavis.edu/Data/Acc/dataframe.aspx?start=GenSearch.aspx&navstart=nav.html>>. Acesso em: 12 jun. 2020.

VEIGA, R. D.; FERREIRA, D. F.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência dos dialelos circulantes na escolha de genitores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1395–1406, jul. 2000.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto-SP: Sociedade Brasileira de Genética, 1992.

WARNER, J.; HAO, X.; ZHANG, T. Q. Effects of row arrangement and plant density on yield and quality of early, small-vined processing tomatoes. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 82, n. 4, p. 765–770, 1 out. 2002.

WPTC. **World Processing Tomato Council**. Disponível em:

<[https://www.wptc.to/pdf/releases/WPTC crop update as of 11 March 2020.pdf](https://www.wptc.to/pdf/releases/WPTC%20crop%20update%20as%20of%2011%20March%202020.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2020.

ZHU, J.-Y.; SAE-SEAW, J.; WANG, Z.-Y. Brassinosteroid signalling. **Development**, v. 140, n. 8, p. 1615 LP – 1620, 15 abr. 2013.