

RAFAEL RAVANELI CHAGAS

**RELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS,
ASSOCIADAS AO NANISMO EM LINHAGENS DE TOMATEIRO PARA
PROCESSAMENTO**

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 GERAIS
2022**

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

T

C433r
2022
Chagas, Rafael Raveli, 1992-
Relação entre características agronômicas e fisiológicas,
associadas ao nanismo em linhagens de tomateiro para
processamento / Rafael Raveli Chagas. – Viçosa, MG, 2022.
1 tese eletrônica (57 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: Derly José Henriques da Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Fitotecnia, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.031>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Solanum lycopersicum* - Melhoramento genético.
2. Tomate - Seleção. 3. Banco de genes de plantas. 4. Análise de
variância. I. Silva, Derly José Henriques da, 1961-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.
Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento.
III. Título.

CDD 22. ed. 635.6422


RAFAEL RAVANELI CHAGAS

**RELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS,
ASSOCIADAS AO NANISMO EM LINHAGENS DE TOMATEIRO PARA
PROCESSAMENTO**


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: 05 de agosto de 2022.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 RAFAEL RAVANELI CHAGAS
Data: 14/03/2023 13:07:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rafael Ravaneli Chagas
Autor

Documento assinado digitalmente
 DERLY JOSE HENRIQUES DA SILVA
Data: 18/03/2023 12:27:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Derly José Henriques da Silva
Orientador

A Edilson, Tânia, Leonardo e João Vitor que são as pessoas que são a minha base

Aos meus avós Armando, Irene, Francisco e Jorgina que sempre torceram por esse momento.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a vida, que me permitiu conhecer pessoas maravilhosas, que fazem ou fizeram parte da minha vida.

A toda a minha família, especialmente aos meus pais Edilson e Tânia e aos meus irmãos Leo e João Vitor que são as pessoas mais importantes na minha vida.

À minha esposa Ariri, por toda a parceria, por sempre me incentivar e dar aquele “puxão de orelha” quando necessário, e por sempre me ajudar a me tornar quem eu sou.

A todos os professores que passaram pelo meu caminho e contribuíram com um pouquinho de si, deixando suas marcas e aprendizados que me tornaram uma pessoa melhor. Em especial aos professores da UFV por todo o conhecimento compartilhado.

Ao Professor Derly, uma pessoa ímpar na minha formação, sempre contribuindo com sua sabedoria e sempre fazendo as perguntas mais difíceis, as quais muito contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos membros da banca, Carlos Nick, Dora Martins, Juliano Resende, Maicon Nardino, por terem aceitado o convite e fazerem parte deste momento.

Ao grupo NEO que colaborou muito com este trabalho, seja com discussões, ou mesmo aquele café no meio do dia, de onde saíam muitas boas ideias e risadas.

A todos os funcionários da UFV, em especial aos funcionários do PPGM, Marco Túlio e Odilon e aos funcionários da Horta Nova e Horta velha, os quais possuem participação direta nessa tese, sem o esforço e o auxílio de todos, jamais conseguiria.

E a todos que auxiliaram de forma direta e indireta durante a minha trajetória, seja com boas risadas, festas, estudos. Saibam que vocês são fundamentais em minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

CHAGAS, Rafael Ravaneli, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2022. **Relação entre características agronômicas e fisiológicas, associadas ao nanismo em linhagens de tomateiro para processamento.** Orientador: Derly José Henriques da Silva.

No manejo de tomateiro para processamento, o tutoramento das plantas não é prática realizada, expondo a planta a condições mais propícias de serem acometidas por patógenos, acarretando assim, a redução da qualidade e produtividade dos frutos. A utilização do nanismo, pode ser uma boa estratégia para obtenção de plantas de porte reduzido, com menor acamamento e melhor qualidade dos frutos. No entanto, a avaliação de características relacionadas ao crescimento, em estágios iniciais, é complexa, devido a essas características serem majoritariamente quantitativas e bastante influenciadas pelo ambiente. Nesse sentido, a realização de medidas repetidas pode ser uma alternativa, por considerar esses efeitos, além de otimizar o tempo de avaliação das características. Diante do exposto, a presente tese foi composta em dois capítulos. Com o primeiro capítulo objetivou-se avaliar acessos de tomateiro com nanismo e como esta característica altera o metabolismo e a morfologia da planta. Para tanto, foram utilizados 14 genótipos de tomateiro, sendo avaliadas características morfológicas, de biomassa, trocas gasosas e análises bioquímicas. Foi utilizada análise de variância e, quando houve efeito significativo dos genótipos, foi aplicado o teste de Scott-Knott. Observou-se nos resultados que o comprimento da haste principal não diferiu entre os genótipos, o que pode dar indícios de quais genes estão envolvidos no fenótipo anão. Apesar disso, as plantas anãs apresentaram menor comprimento dos entrenós, sendo uma característica muito importante pelo aumento da sua capacidade produtiva, devido ao maior número de inflorescências. Com relação aos parâmetros fisiológicos, destaca-se que não houve diferença entre os genótipos testados, reforçando que o nanismo não afeta o metabolismo das plantas. Assim, concluiu-se que nanismo não causou alterações no metabolismo e nos parâmetros fotossintéticos, bem como não alterou a capacidade produtiva dos materiais. Além disso, esse fenótipo alterou a morfologia das plantas pela redução do comprimento dos entrenós e a área da copa, e houve o aumento do índice de colheita. Com relação ao segundo capítulo objetivou-se estimar os coeficientes de repetibilidade e o número ótimo de medidas para a seleção de genótipos de tomateiro com crescimento determinado. Para tanto foram utilizados os mesmos 14 genótipos, e as características avaliadas relacionadas ao crescimento das plantas, sendo tomadas em quatro medidas ao longo do período vegetativo. Na análise estatística foi empregada a metodologia

REML/BLUP e o modelo de repetibilidade. Concluiu-se que o uso do coeficiente de repetibilidade e medidas repetidas podem ser aplicados para a cultura do tomateiro e que, a terceira medida apresenta boa eficiência para características de crescimento de tomateiro determinado.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L. Melhoramento genético. Coeficiente de repetibilidade. Modelos mistos

ABSTRACT

CHAGAS, Rafael Raveli, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August 2022. **Relationship between agronomic and physiological traits associated with dwarfism in inbred processing tomato lines.** Adviser: Derly José Henriques da Silva.

In the management of tomato plants for processing, the plants are not tutored, leading to a reduction in the quality and productivity of the fruits, due to infection by microorganisms present in the soil. The use of dwarfism can be a good strategy to obtain smaller plants, with less lodging and better fruit quality. However, the evaluation of characteristics related to growth, in the early stages, is complex, because these characteristics are mostly quantitative and strongly influenced by the environment. In this sense, performing repeated measurements can be an alternative, considering these effects, in addition to optimizing the time for evaluating the characteristics. Given the above, this thesis has two chapters. The first chapter aimed to evaluate tomato accessions with dwarfism and how this characteristic changes the metabolism and morphology of the plant. For that, 14 tomato genotypes were used, being evaluated morphological characteristics, biomass, gas exchange and biochemical analysis. Analysis of variance was used and, when there was a significant effect of genotypes, the Scott-Knott test was applied. It was observed in the results that the length of the main stem did not differ between the genotypes, which may indicate which genes are involved in the dwarf phenotype. Despite this, dwarf plants had shorter internodes, which is a very important feature due to the increase in their productive capacity, due to the greater number of inflorescences. Regarding the physiological parameters, it is noteworthy that there was no difference between the genotypes tested, reinforcing that dwarfism does not affect plant metabolism. Thus, it was concluded that dwarfism did not cause alterations in metabolism and photosynthetic parameters, nor did it alter the productive capacity of the materials. In addition, this phenotype altered the morphology of the plants by reducing the internode length and canopy area, and there was an increase in the harvest index. Regarding the second chapter, the objective was to estimate the repeatability coefficients and the optimal number of measures for the selection of tomato genotypes with determined growth. For that, the same 14 genotypes were used, and the evaluated characteristics related to plant growth were taken in four measurements throughout the vegetative period. In the statistical analysis, the REML/BLUP methodology and the repeatability model were used. It was concluded that the use of the repeatability coefficient and repeated measures can be

applied to tomato crops and that the third measure presents good efficiency for specific tomato growth characteristics.

Keywords: *Solanum lycopersicum L.*. Dwarfism. Repeatability coefficient. Repeated measures

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	10
REFERÊNCIAS	13
CAPÍTULO 1.....	18
1. INTRODUÇÃO.....	21
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.1. MATERIAL VEGETAL E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	22
2.2. CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA.....	23
2.2.1. MORFOLOGIA.....	23
2.2.2. BIOMASSA.....	23
2.2.3. TROCAS GASOSAS	23
2.3. ANÁLISES BIOQUÍMICAS	24
2.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	24
3. RESULTADOS	24
4. DISCUSSÃO	36
5. CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	39
CAPÍTULO 2.....	43
1. INTRODUÇÃO.....	45
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	47
2.1. MATERIAL EXPERIMENTAL E AVALIAÇÕES FENOTÍPICAS	47
2.2. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	48
3. RESULTADOS	48
4. DISCUSSÃO	51
5. CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS	54
APÊNDICE.....	57

INTRODUÇÃO GERAL

O tomateiro é a segunda cultura hortícola mais valiosa no mundo, sendo produzidos mundialmente 186 milhões de toneladas, em aproximadamente 5 milhões de hectares (FAO, 2020). Possui grande aceitação comercial e alta adaptabilidade para produção, além de versatilidade de uso no consumo, o qual pode ser de forma *in natura*, ou processada, como molhos, extratos, purês, conserva, entre outros (HEUVELINK, 2018).

De forma geral, as plantas que compõem um cultivo comercial de tomate, apresentam dossel grande, porte ereto, ramo principal e laterais longos, ocasionando o acamamento das plantas, principalmente no momento da produção, por não suportarem o peso dos frutos.

Dessa forma, quando a produção visa a utilização *in natura* do fruto, é realizado o tutoramento da planta, a fim de que este não tenha contado com solo, evitando deteriorações e mantendo assim a sanidade.

Já no tomateiro para processamento, o manejo é feito de forma diferente, uma vez que o aspecto visual do fruto não é priorizado e, visando a redução de custos de mão de obra, não é feito o tutoramento, e o cultivo é realizado de forma rasteira. No entanto, esse manejo acarreta a redução da qualidade e produtividade dos frutos, devido a infecção por microrganismos patogênicos.

Assim, com relação ao desenvolvimento vegetativo e hábito de crescimento, uma das estratégias utilizadas pelos melhoristas está relacionada a utilização de genes que condicionam plantas ao crescimento do tipo anão. Plantas que possuem esse fenótipo têm arquitetura diferenciada, reduzido comprimento de entrenó e, conseqüentemente, menor altura, o que as tornam menos suscetíveis ao acamamento, diminuindo o contato dos frutos com o solo e garantindo a sua qualidade. Ainda que a produção por planta desse porte seja reduzida, essa característica possibilita maior adensamento de plantas, não afetando a produção final (FINZI *et al.*, 2017 SUN *et al.*, 2019).

Dentre os estudos relacionados a introdução de características anãs em plantas, podemos destacar a utilização destas em culturas produtoras de grãos. Essa alteração ocorreu com a introdução dos genes Rht no trigo e o sd1 no arroz (HEDDEN, 2003). Para a cultura do tomateiro, alguns genes já foram citados na literatura e relacionados a redução do porte das plantas, à saber, os genes dwarf, br, ga2ox7, DELLA, PROCERA, ga20ox, os quais estão associados à regulação da síntese de hormônios endógenos como giberelina ou aos brassinoesteroides (BARABASCHI *et al.*, 2016; LEE; HUTTON; SHEKASTEBAND, 2018;

SCHRAGER-LAVELLE *et al.*, 2019; SUN *et al.*, 2019; TOMLINSON *et al.*, 2019; XIAO *et al.*, 2006).

As Giberelinas (GAs) desempenham papel importante em todo desenvolvimento da cultura, na germinação de sementes (CHEN; KUO; CHIEN, 2008; FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006; URBANOVA; LEUBNER-METZGER, 2016), resposta ao estresse abiótico (COLEBROOK *et al.*, 2014), melhoria do crescimento do fruto (LI *et al.*, 2011), alongamento do caule (DAYAN *et al.*, 2012; WANG *et al.*, 2017) e floração (MUÑOZ-FAMBUENA *et al.*, 2012; SHARMA; SINGH, 2009), além de outros efeitos fisiológicos que ocorrem em sua interação com outros fitohormônios (HEDDEN; SPONSEL, 2015; JIN *et al.*, 2017). Em mutantes *gibberellin deficient-1* (*gib-1*), *gibberellin deficient-2* (*gib-2*) e *gibberellin deficient-3* (*gib-3*) a giberelina é codificada em baixa quantidade, acarretando a redução no crescimento da planta, na germinação de sementes, bem como folhas verde escuras, grossas e encarquilhadas (GROOT; KARSSSEN.C.M., 1987; ZEEVAART, 1986).

Os brassinosteróides (BRs) regulam a expressão gênica e o desenvolvimento de plantas e, além disso, possuem ampla gama de efeitos no crescimento e nas respostas a estresses bióticos e abióticos das plantas. Pesquisas com mutantes com defeitos na biossíntese ou sinalização de BR, demonstraram que BR desempenha papéis essenciais em quase todas as fases do desenvolvimento da planta, pois mutantes BR deficientes apresentaram múltiplos problemas no desenvolvimento, como germinação reduzida de sementes, nanismo extremo, fotomorfogênese no escuro, distribuição alterada de estômatos, floração tardia e esterilidade masculina (ZHU; SAE-SEAW; WANG, 2013).

No tomateiro são conhecidos três genes que reduzem o porte da planta pela mudança na produção e sensibilidade aos BRs, a saber *dwarf* (*d*), *curl-3* (*cu-3*) e *dumpy* (*dpy*), possuindo 11, dois e três alelos cada, respectivamente (SGN, 2020; TGRC, 2020).

De forma geral, é possível observar que genes que conferem o fenótipo anão ao tomateiro, alteram a arquitetura da planta, pela redução de suas partes, encurtamento dos entrenós, além de modificar a morfologia das folhas, quanto a espessura e rugosidade, podendo inclusive, alterar o tamanho dos frutos (MARIM, 2011; RICK, 1952; TGRC, 2020).

Assim, o uso de plantas anãs associada a características agronômicas e de qualidade de frutos desejáveis para produção industrial, podem melhorar significativamente o manejo cultural, bem com a colheita mecanizada e ainda a produtividade do tomateiro, pelo uso de plantas de forma mais adensadas.

No entanto, a avaliação do crescimento de plantas, para fins de seleção em estágios iniciais, é um tanto complexa, visto que características relacionadas ao crescimento são

majoritariamente quantitativas e bastante influenciadas pelo ambiente (RAMALHO *et al.*, 2021).

Assim, uma das formas de se considerar os efeitos genéticos e ambientais, otimizando o tempo de avaliação das características de interesse é a utilização de medidas repetidas (LESSA *et al.*, 2014).

O termo “medidas repetidas” refere-se a múltiplas respostas tomadas em sequência sobre a mesma unidade experimental, buscando identificar o número ideal de medidas a serem realizadas por meio dos coeficientes de repetibilidade (GONÇALVES; FRITSCHÉ-NETO, 2012).

O coeficiente de repetibilidade (ρ) é definido como a correlação entre medidas repetidas de um mesmo indivíduo ao longo do tempo (dados longitudinais), bem como seu coeficiente de determinação associado (R^2), que mede a precisão em prever o verdadeiro valor de um genótipo individual (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Assim, a estimativa do ρ , fornece uma aproximação do valor máximo que a herdabilidade, em sentido amplo, pode de uma característica, atingir (LESSA *et al.*, 2014).

A utilização de procedimentos mais precisos é necessária para estimar e prever os componentes de variância e parâmetros genéticos em função do desequilíbrio dos desenhos experimentais e da repetibilidade das sucessivas gerações durante o ciclo produtivo, associado aos caracteres quantitativos no curso da seleção (DA SILVA SALES *et al.*, 2019)

Os modelos de repetibilidade tem grande aplicação no melhoramento de plantas forrageiras perenes (BRITO DA SILVA *et al.*, 2020; FERREIRA *et al.*, 2020; ROCHA; MACHADO; CARNEIRO, 2018; STIDA *et al.*, 2018), culturas onde ocorrem várias colheitas ao longo do tempo (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2020; DA SILVA SALES *et al.*, 2019), frutíferas (ALMEIDA *et al.*, 2019; DA SILVA SALES *et al.*, 2019; SÁNCHEZ *et al.*, 2017).

Diante do exposto, objetivou-se com a presente pesquisa *i*) avaliar acessos de tomateiro com nanismo e como esta característica altera o metabolismo e a morfologia do tomateiro para processamento industrial, *ii*) a estimação dos coeficientes de repetibilidade e o número ótimo de medidas para a seleção de genótipos de tomateiro com crescimento determinado.

REFERENCIAS

- ALMEIDA, C.L.P. *et al.* Repetibility in guava: how many evaluations is necessary for selection the best guava tree?. **Functional Plant Breeding Journal**, v. 1, n. 2, p. 51–60, 2019. Disponível em: <http://fpbjournal.com/fpbj/index.php/fpbj/article/view/61/21>.
- ANDRADE JÚNIOR, Valter C *et al.* Repeatability and heritability of production characters in strawberry fruits. **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 89–93, 2020.
- BARABASCHI, Delfina *et al.* Next generation breeding. **Plant Science**, v. 242, p. 3–13, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168945215300169>.
- 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, 1996. Disponível em: <http://www.plantcell.org/lookup/doi/10.1105/tpc.8.6.959>.
- BRITO DA SILVA, Verônica *et al.* Assessment of energy production in full-sibling families of elephant grass by mixed models. **Renewable Energy**, v. 146, p. 744–749, 2020.
- CHEN, S.-Y.; KUO, S.-R.; CHIEN, C.-T. Roles of gibberellins and abscisic acid in dormancy and germination of red bayberry (*Myrica rubra*) seeds. **Tree Physiology**, v. 28, n. 9, p. 1431–1439, 2008. Disponível em: <https://academic.oup.com/treephys/article-lookup/doi/10.1093/treephys/28.9.1431>.
- COLEBROOK, Ellen H. *et al.* The role of gibberellin signalling in plant responses to abiotic stress. **Journal of Experimental Biology**, v. 217, n. 1, p. 67–75, 2014. Disponível em: <https://journals.biologists.com/jeb/article/217/1/67/11961/The-role-of-gibberellin-signalling-in-plant>.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Ed. UFV, 2012.
- DA SILVA SALES, Witalo *et al.* Estimates of repeatability for selection of genotypes of seedless table grapes for Brazilian semiarid regions. **Scientia Horticulturae**, v. 245, p. 131–136, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423818307131>.
- DAYAN, Jonathan *et al.* Leaf-Induced Gibberellin Signaling Is Essential for Internode Elongation, Cambial Activity, and Fiber Differentiation in Tobacco Stems. **The Plant Cell**, v. 24, n. 1, p. 66–79, 2012. Disponível em:

<https://academic.oup.com/plcell/article/24/1/66/6100648>.

FAO. Crops and livestock products. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Extracted from: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Data of Access:22/06/2022.

FERREIRA, Filipe Manoel *et al.* Estimates of repeatability coefficients and optimum number of measures for genetic selection of *Cynodon* spp. **Euphytica**, v. 216, n. 5, p. 70, 2020.

FINCH-SAVAGE, William E.; LEUBNER-METZGER, Gerhard. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, v. 171, n. 3, p. 501–523, 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x>.

FINZI, Rafael Resende *et al.* Growth habit in mini tomato hybrids from a dwarf line. **Bioscience Journal**, p. 52–56, 2017.

GONÇALVES, M.C.; FRITSCHÉ-NETO, R. Modelagem em experimentos com medidas repetidas. *In*: GONÇALVES, M.C.; FRITSCHÉ-NETO, R. (org.). **Tópicos especiais d biometria no melhoramento de plantas**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. p. 131–138.

GROOT, S.P.C.; KARSSSEN.C.M. Gibberellins regulate seed germination in tomato by endosperm weakening: a study with gibberellin-deficient mutants. **Planta**, v. 171, p. 525–531, 1987.

HEDDEN, Peter. The genes of the Green Revolution. **Trends in genetics : TIG**, v. 19, n. 1, p. 5–9, 2003. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12493241>.

HEDDEN, Peter; SPONSEL, Valerie. A Century of Gibberellin Research. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 34, n. 4, p. 740–760, 2015. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00344-015-9546-1>.

HEUVELINK, E P. **Tomatoes**. 2 nded. Boston: CABI, 2018.

JIN, Qijiang *et al.* Interactions between ethylene, gibberellin and abscisic acid in regulating submergence induced petiole elongation in *Nelumbo nucifera*. **Aquatic Botany**, v. 137, p. 9–15, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304377016301863>.

KEMBLE, Joseph 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, 1994. Disponível em: <https://journals.ashs.org/view/journals/hortsci/29/12/article-p1460.xml>.

LEE, Tong Geon; HUTTON, Samuel F; SHEKASTEBAND, Reza. Fine Mapping of the

brachytic Locus on the Tomato Genome. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 143, n. 4, p. 239–247, 2018. Disponível em: <https://journals.ashs.org/view/journals/jashs/143/4/article-p239.xml>.

LESSA, Lauro Saraiva *et al.* Estimativas de repetibilidade de híbridos diploides (AA) de bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 2, p. 109–117, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2014000200109&lng=pt&tlng=pt.

LI, Yun-He *et al.* Exogenous gibberellic acid increases the fruit weight of ‘Comte de Paris’ pineapple by enlarging flesh cells without negative effects on fruit quality. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 5, p. 1715–1722, 2011. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11738-010-0708-2>.

MARTI, E. Genetic and physiological characterization of tomato cv. Micro-Tom. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 9, p. 2037–2047, 2006. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/erj154>.

MARTÍ, Esmeralda *et al.* Genetic and physiological characterization of tomato cv. Micro-Tom. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 9, p. 2037–2047, 2006.

MUÑOZ-FAMBUENA, Natalia *et al.* Gibberellic Acid Reduces Flowering Intensity in Sweet Orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] by Repressing CiFT Gene Expression. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 31, n. 4, p. 529–536, 2012. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00344-012-9263-y>.

RAMALHO, M.A.P. *et al.* **Genética na agropecuária**. 6. ed. Lavras: UFLA, 2021.

ROCHA, João Romero do Amaral Santos de Carvalho; MACHADO, Juarez Campolina; CARNEIRO, Pedro Crescêncio Souza. Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. **GCB Bioenergy**, v. 10, n. 1, p. 52–60, 2018.

SÁNCHEZ, C F B *et al.* Research Article Estimates of repeatability coefficients and the number of the optimum measure to select superior genotypes in *Annona muricata* L. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, 2017. Disponível em: <http://www.funpecrp.com.br/gmr/articles/year2017/vol16-3/pdf/gmr-16-03-gmr.16039753.pdf>.

SCHRAGER-LAVELLE, Amanda *et al.* The role of a class III gibberellin 2-oxidase in

tomato internode elongation. **The Plant Journal**, v. 97, n. 3, p. 603–615, 2019. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/tpj.14145>.

SGN. **Solanaceae Genomics Network**. Disponível em: . Acesso em: 11 jun. 2022.

SHARMA, R.R.; SINGH, R. Gibberellic acid influences the production of malformed and button berries, and fruit yield and quality in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Scientia Horticulturae**, v. 119, n. 4, p. 430–433, 2009. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030442380800441X>.

STIDA, Wanessa F. *et al.* Estimation of genetic parameters and selection of elephant-grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) for forage production using mixed models. **Chilean journal of agricultural research**, v. 78, n. 2, p. 198–204, 2018.

SUN, Xiao-Rong *et al.* Genetic analysis of tomato internode length via mixed major gene plus polygene inheritance model. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 759–764, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423818308252>.

TOMLINSON, Laurence *et al.* Using CRISPR/Cas9 genome editing in tomato to create a gibberellin-responsive dominant dwarf DELLA allele. **Plant Biotechnology Journal**, v. 17, n. 1, p. 132–140, 2019. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/pbi.12952>.

TGRC. **Tomato Genetics Resource Center**. 2022. Disponível em: <https://tgrc.ucdavis.edu/Data/Acc/dataframe.aspx?start=GenSearch.aspx&navstart=nav.html&start=GenSearch.aspx&navstart=nav.html>.

URBANOVA, T.; LEUBNER-METZGER, G. Gibberellins and seed germination. *In*: HEDDEN, P.; THOMAS, S.G. (org.). **The gibberellins**. Chichester: John Wiley & Sons, 2016. p. 253–284.

WANG, Yijun *et al.* Gibberellin in plant height control: old player, new story. **Plant Cell Reports**, v. 36, n. 3, p. 391–398, 2017.

XIAO, Jinghua *et al.* Dissection of GA 20-oxidase members affecting tomato morphology by RNAi-mediated silencing. **Plant Growth Regulation**, v. 50, n. 2–3, p. 179–189, 2006.

ZEEVAART, J.A.D. Characterization of three single gene dwarf mutants of tomato. **Journal of Cell Biochemistry**, v. 10, p. 33, 1986.

ZHU, Jia-Ying; SAE-SEAW, Juthamas; WANG, Zhi-Yong. Brassinosteroid signalling. **Development**, v. 140, n. 8, p. 1615–1620, 2013. Disponível em:

<https://journals.biologists.com/dev/article/140/8/1615/46010/Brassinosteroid-signalling>.

**CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA E AGRONÔMICA DE LINHAGENS ANÃS DE
TOMATEIRO PARA PROCESSAMENTO**

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA E AGRONÔMICA DE LINHAGENS ANÃS DE TOMATEIRO PARA PROCESSAMENTO.

RESUMO

CHAGAS, Rafael Ravaneli, MSc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2022. Capítulo I. **Caracterização fisiológica e agronômica de linhagens anãs de tomateiro para processamento.** Orientador: Derly José Henriques da Silva

A utilização de plantas de tomateiro de porte anão, pode ser considerada uma boa estratégia para o aumento da produtividade, pela possibilidade do adensamento de plantas. Além disso, para o cultivo do tomateiro, plantas anãs podem tornar a produção mais sustentável, pela alteração do hábito de crescimento e redução do acamamento, evitando o contato dos frutos com o solo, mantendo a sua sanidade e facilitando a sua colheita. Nesse contexto, objetivou-se com o trabalho, avaliar acessos de tomateiro com nanismo e como esta característica altera o metabolismo e a morfologia do tomateiro para indústria. Para tanto foram utilizados 14 genótipos de tomateiro, sendo 11 linhagens com gene de nanismo do Banco de Germoplasma de Hortaliças (BGH-UFV) e 3 híbridos comerciais. Foi realizada a caracterização morfológica (comprimento e largura do primeiro entrenó acima do solo, comprimento da haste principal, área da copa e o comprimento e diâmetro da folha e o número de folhas); biomassa (biomassa seca da raiz, parte aérea e total da planta, área foliar específica e índice de colheita); trocas gasosas (taxa de assimilação líquida de carbono, condutância estomática, concentração interna de CO₂, transpiração, irradiância e respiração) e análises bioquímicas (glicose, sacarose, frutose e amido, clorofilas a, b e total, malato, proteínas solúveis e aminoácidos totais). Foi realizada análise de variância e, quando houve efeito significativo dos genótipos, foi aplicado o teste de Scott-Knott. O nanismo não causou alterações no metabolismo e nos parâmetros fotossintéticos, bem como não alterou a capacidade produtiva dos materiais. Além disso, houve alteração na morfologia das plantas anãs pela redução do comprimento dos entrenós e a área da copa, o que permite o adensamento das plantas, eleve a produtividade. Houve ainda, o aumento do índice de colheita dos genótipos, característica que vem aumentando ao longo dos ciclos de melhoramento.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L. Nanismo. Melhoramento genético. Germoplasma. Arquitetura de plantas.

PHYSIOLOGICAL AND AGRONOMIC CHARACTERIZATION OF PROCESSING DWARF TOMATO INBRED LINES

ABSTRACT

CHAGAS, Rafael Ravaneli, MSc., Universidade Federal de Viçosa, August of 2022. CHAPTER I. **Physiological and agronomic characterization of processing dwarf tomato inbred lines.** Adviser: Derly José Henriques da Silva

The use of dwarf plants can be considered a good strategy to increase productivity in the coming years, due to the possibility of plant density. In addition, for tomato cultivation, dwarf plants can make production more sustainable, by changing the growth habit and reducing lodging, avoiding contact of the fruits with the soil, maintaining their health and facilitating their harvest. In this context, the objective of this work was to evaluate tomato accessions with dwarfism and how this characteristic changes the metabolism and morphology of tomato plants for industrial processing. For that, 14 tomato genotypes were used, 11 lines with dwarfism gene from the Vegetable Germplasm Bank (BGH-UFV) and 3 commercial hybrids. Morphological characterization was performed (length and width of the first internode above the ground, length of the main stem, canopy area and leaf length and diameter and the number of leaves); biomass (root dry biomass, shoot and total plant part, specific leaf area and harvest index); gas exchange (net carbon assimilation rate, stomatal conductance, internal CO₂ concentration, transpiration, irradiance and respiration) and biochemical analyzes (glucose, sucrose, fructose and starch, chlorophyll a, b and total, malate, soluble proteins and total amino acids). Analysis of variance was used and, when there was a significant effect of genotypes, the Scott-Knott test was applied. Dwarfism did not cause changes in metabolism and photosynthetic parameters, nor did it alter the productive capacity of the materials. In addition, there was a change in the morphology of the dwarf plants due to the reduction in the length of the internodes and the canopy area, which allows for the densification of the plants, hoping that this will increase productivity. There was also an increase in the harvest rate of the genotypes, a characteristic that has been increasing throughout the breeding cycles.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L.; dwarfism; plant breeding; germplasm; plant architecture.

1 INTRODUÇÃO

O nanismo pode ser considerado um dos caminhos para o aumento de produtividade nos próximos anos, devido a possibilidade de adensamento de plantas em uma mesma área. Essa característica teve seu relato mais importante durante a revolução verde, com a introdução do nanismo na cultura do arroz (*Oriza sativa* L.) em que, foi possível obter-se incremento no platô produtivo da cultura (HEDDEN, 2003).

Para a obtenção de plantas anãs, um dos primeiros genes descritos foi o gene *d* (BISHOP; HARRISON; JONES, 1996), em que plantas com o alelo *d^x* apresentavam o fenótipo anão, em decorrência da alteração do citocromo P450, o qual está relacionado a rota de giberelina das plantas. Com o mesmo gene, existe o tomate cv. *Micro Tom*, o qual apresenta uma mutação em que o gene *d* produz dois micro RNA's que levam ao fenótipo anão, com as folhas escuras e enrugadas, estando relacionado a produção de brassinoesteroides (MARTÍ *et al.*, 2006). Alguns outros estudos têm sido realizados, seja buscando entender quais genes podem causar o nanismo, qual seria a sua herança ou ainda a forma como que eles são passados através das gerações (LIU *et al.*, 2020; SCHRAGER-LAVELLE *et al.*, 2019; SUN, Xiao-rong *et al.*, 2019; SUN, Xiaorong *et al.*, 2019).

Sabe-se que muitos desses genes estão associados as Giberelinas (GAs) e aos Brassinoesteroides (BR), os quais possuem funções importantes no crescimento das plantas (Depuydt and Hardtke, 2011; Bai *et al.*, 2012). As GAs atuam em diversos estádios desde a germinação, crescimento até o pegamento de frutos (Yamaguchi, 2008; Mutasa-Gottgens and Hedden, 2009; Seymour *et al.*, 2013; Hedden, Peter; Thomas, Stephen, 2016). Da mesma forma, os BR também atuam no crescimento e desenvolvimento das plantas, pelo estímulo a divisão celular e ao alongamento celular (Clouse, 2011). Mutantes deficientes na produção destes hormônios possuem características fenotípicas semelhantes, como folhas mais escuras e enrugadas, redução do tamanho de pecíolos e hipocótilos e o nanismo (Clouse and Sasse, 1998; Fleet and Sun, 2005). Além dos níveis hormonais, o metabolismo das plantas e o seu ciclo circadiano, atuam juntos a fatores ambientais, como luz, estresses abióticos, disponibilidade de água e nutrientes, afetando o crescimento das plantas (Schrager-Lavelle *et al.*, 2019).

No tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), o nanismo está relacionado não somente a redução da altura das plantas, mas sim, à um conjunto de características que podem, além de elevar os patamares produtivos, contribuir para os manejos culturais, tornando a produção mais sustentável. Por exemplo, para o tomateiro de mesa que é conduzido tutorado, o nanismo poderá proporcionar a redução de mão de obra, pelo menor número de desbrotas e amarrido dessas

plantas durante a condução da cultura. Já para o tomateiro de processamento, o nanismo pode alterar o hábito de crescimento, o qual pode passar de prostrado a ereto e, devido a essa alteração, os frutos deixam de estar em contato com o solo, facilitando a colheita mecanizada e reduzindo o microclima que facilita o estabelecimento de doenças nos frutos.

No entanto, no melhoramento voltado para a produção comercial de tomate para mesa, o desenvolvimento de cultivares de porte anão é bastante complexo. Isso porque, apesar dos benefícios citados anteriormente, a planta nesse porte, apresenta também características prejudiciais à produção, como por exemplo, folhas verdes escuras e encarquilhadas (Clouse e Sasse, 1998; Fleet e Sun, 2005). Tais folhas podem reduzir a produção fotossintética e, conseqüentemente, a quantidade de fotoassimilados gerados será menor, acarretando a redução da produção. Isso porque não somente a assimilação de carbono para a promoção do crescimento é importante, mas também a alocação desses fotoassimilados nos órgãos de importância econômica.

Assim, devido a essa gama de características, os tomateiros com porte anão são boas alternativas para alterar o ideótipo da planta e tornar a produção, mais sustentável.

Nesse contexto objetivou-se com a pesquisa avaliar acessos de tomateiro com nanismo e como esta característica altera o metabolismo e a morfologia do tomateiro para processamento industrial.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material vegetal e delineamento experimental

Foram utilizados 14 genótipos de tomateiro, destes 11 são linhagens de tomateiro com gene de nanismo do Banco de Germoplasma de Hortaliças (BGH-UFV) e 3 híbridos comerciais (N901, H9889 e HMX 7885). As linhagens com o fenótipo anão são oriundas de 4 cruzamentos: HMX-7889 x BGH-2006; N-901 x BGH-2006; N901 x BGH-2086; H-9899 x BGH-2006 e avançadas até a geração F_{4:6}.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Viçosa (20° 45' 14" S, 42° 52' 53" W e 648,74 m), no período de julho a novembro de 2018, em vasos com capacidade de 20 dm³, com uma mistura de solo, areia e esterco em proporção de 2:1:1. O delineamento utilizado foi o de blocos completos ao acaso, com 10 repetições, sendo cinco para análises destrutivas e cinco mantidas até o final da etapa produtiva.

2.2 Caracterização fisiológica

2.2.1 Morfologia

A caracterização morfológica foi realizada no momento da antese, fase na qual as plantas atingem o seu ponto máximo de crescimento. Neste ponto foi obtido o comprimento e largura do primeiro entrenó acima do solo (mm), comprimento da haste principal (cm), medido do solo até o ápice da planta, área da copa calculada a partir dos diâmetros maior e menor da copa (cm) utilizando a fórmula: $area = (Dxd)/20000$. Em que: D corresponde ao diâmetro maior da copa e d o diâmetro menor da copa e os valores de área em m^2 . E em uma folha totalmente desenvolvida foi tomada o comprimento e diâmetro da folha e o número de folhas foi obtido por contagem.

2.2.2 Biomassa

A biomassa da planta foi fracionada em parte aérea (caules e folhas) e raiz e frutos. Em que, as diferentes partes foram levadas para uma estufa de ar forçado a 65 °C onde foram secadas até peso constante. A soma das partes constituiu a biomassa seca total da planta (MSPT). A área foliar específica (AFE) foi obtida a partir da razão da área de seis discos foliares pela massa seca desses discos, após secarem em estufa de ar forçado a 65 °C até peso constante. Foi calculado o índice de colheita (HI) de acordo com a seguinte fórmula $HI = MSF / (MSPT + MSF)$.

2.2.3 Trocas gasosas

No período da antese, foi marcada uma folha totalmente expandida e mensurada as trocas gasosas com um analisador de gases a infravermelho, em sistema aberto acoplado a um fluorômetro (IRGA, Li-cor Inc. LI-6400 XT, Lincol, EUA), no período matutino das 8 horas até 10:30 horas, obtendo-se a taxa de assimilação líquida de carbono (A_N , $mmol CO_2 kg^{-1}$), condutância estomática (g_s , $H_2O m^{-2} s^{-1}$), concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu mol CO_2 mol^{-1}$), transpiração (E , $mmol kg^{-1}$). Os demais parâmetros pertinentes a fluorescência, foram obtidos sob concentração controlada de CO_2 ($400 \mu mol CO_2 mol^{-1}$), irradiância ($1000 \mu mol \text{ fótons } m^{-2}, s^{-1}$ com 10% de luz azul), temperatura e vapor de água ambiente. A obtenção da taxa de respiração no escuro (R_d , $mmol CO_2 kg^{-1}$) foi determinada nas mesmas folhas supracitadas após um período de adaptação de 2 horas no escuro.

2.3 Análises bioquímicas

Das mesmas folhas em que foram realizadas as medições de trocas gasosas, foram retiradas amostras no intervalo entre 11:00 e 12:00 horas, imediatamente congeladas em nitrogênio líquido e posteriormente, liofilizadas para a extração de metabólitos. As análises para determinação de: glicose, sacarose, frutose e amido em folha foram realizados de acordo com a metodologia de Fernie et al., (2001). Os pigmentos fotossintetizantes (clorofila a e b) foram determinados de acordo com a metodologia proposta por Wellburn (1994). A extração de malato foi realizada de acordo com o proposto por Nunes-Nesi et al. (2007), proteínas solúveis totais por Bradford (1976), e aminoácidos totais por Cross et al. (2006).

2.4 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas por meio de análise de variância seguindo o seguinte modelo:

$$y_{ij} = \mu + g_i + b_j + e_{ij}$$

Em que:

y_{ij} : é o valor observado do i -ésimo genótipo no j -ésimo bloco; μ é a média associada a todas as observações; g_i é o efeito do i -ésimo genótipo $\sim N(0; \sigma_g^2)$; b_j é o efeito do j -ésimo bloco $\sim N(0; \sigma_b^2)$; e e_{ij} é o erro experimental associado ao i -ésimo genótipo no j -ésimo bloco, sendo eles independentes e $\sim N(0; \sigma^2)$.

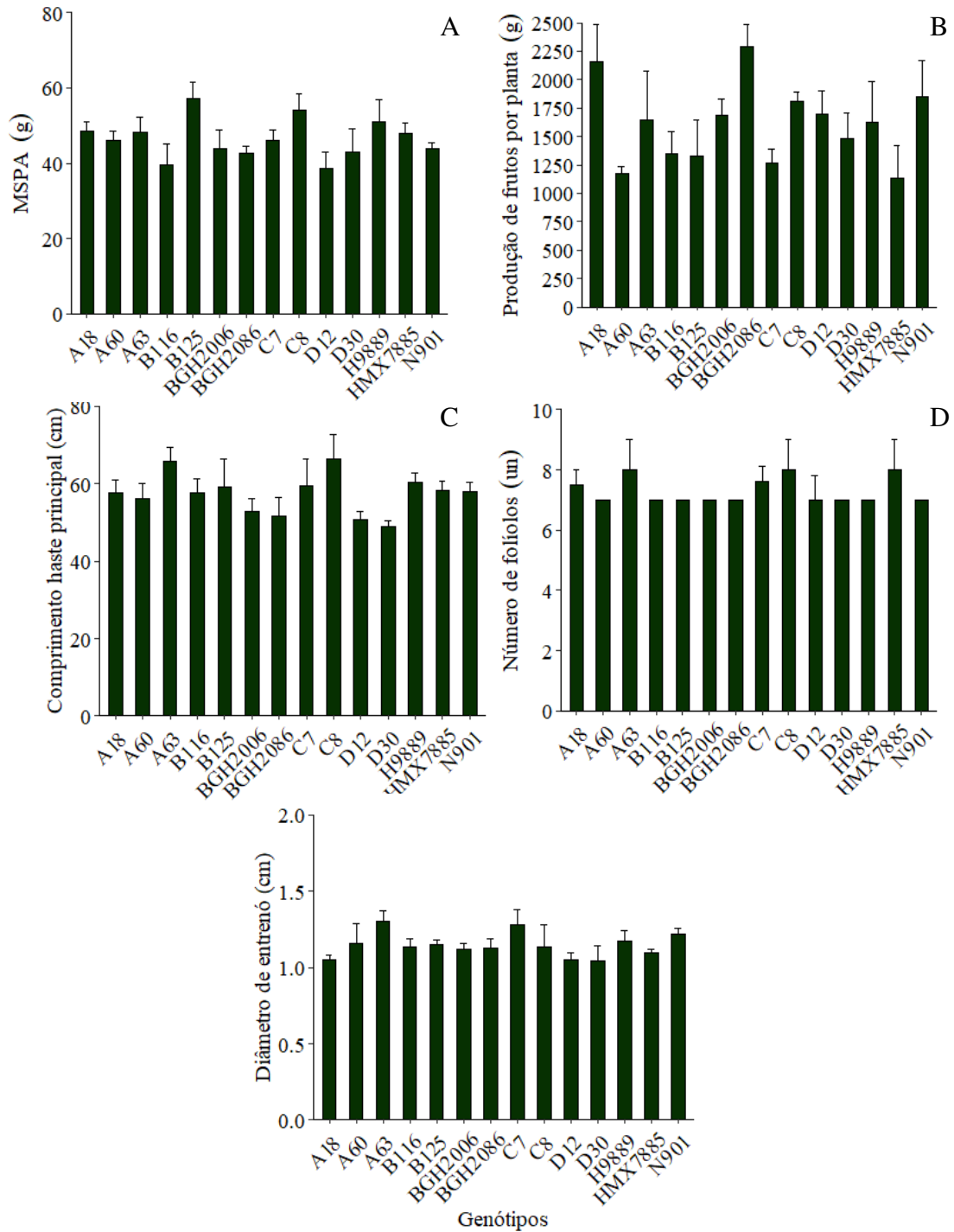
Quando o efeito de genótipo, foi significativo (p-valor $< 0,05$), as médias foram agrupadas de acordo pelo teste de Skott-Knott com 95% de confiança. Também foi realizada uma rede de correlações com base na correlação de Pearson.

Os dados foram analisados por meio do software R 4.1.1 (R Core Team, 2021), as análises de variância pelo pacote AgroR (Shimizu G, Marubayashi R, Goncalves L; 2022) e a rede de correlação pelo pacote “qgraph” (Epskamp et al., 2012).

3 RESULTADOS

Para as características agronômicas, nas variáveis MSPA, produção de frutos por planta, número de folíolos e distância entre entrenó não foram observadas diferenças entre os genótipos utilizados (Figuras 1A a 1E).

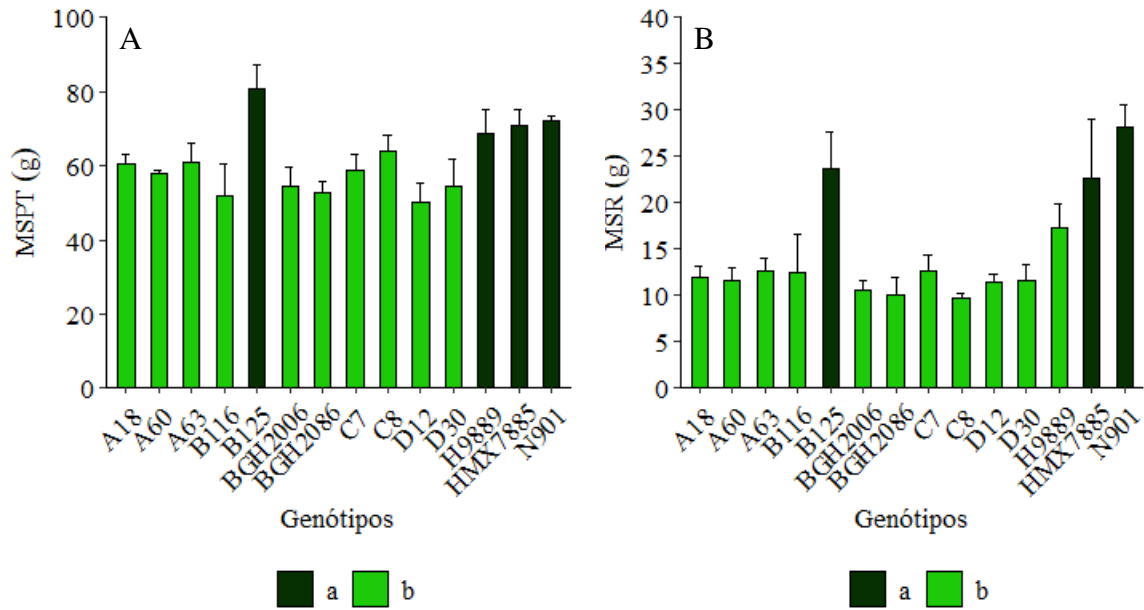
Figura 1 - Características agronômicas de 14 genótipos de tomateiro. A, matéria seca de parte aérea (MSPA); B, produção de frutos por planta; C, altura de planta; D, número de folíolos; E, distância entre entrenós.



Fonte: Chagas (2022).

Já para as variáveis MSPT e MSR, diferenças foram observadas entre os genótipos, sendo B125, H9889, HMX7885 e N901, superiores aos demais, com exceção do H9889 para MSR (Figura 2A e 2B).

Figura 2 - Parâmetros biométricos para 14 genótipos de tomateiro. A, massa seca de planta total (MSPT); B, massa seca de raiz (MSR).



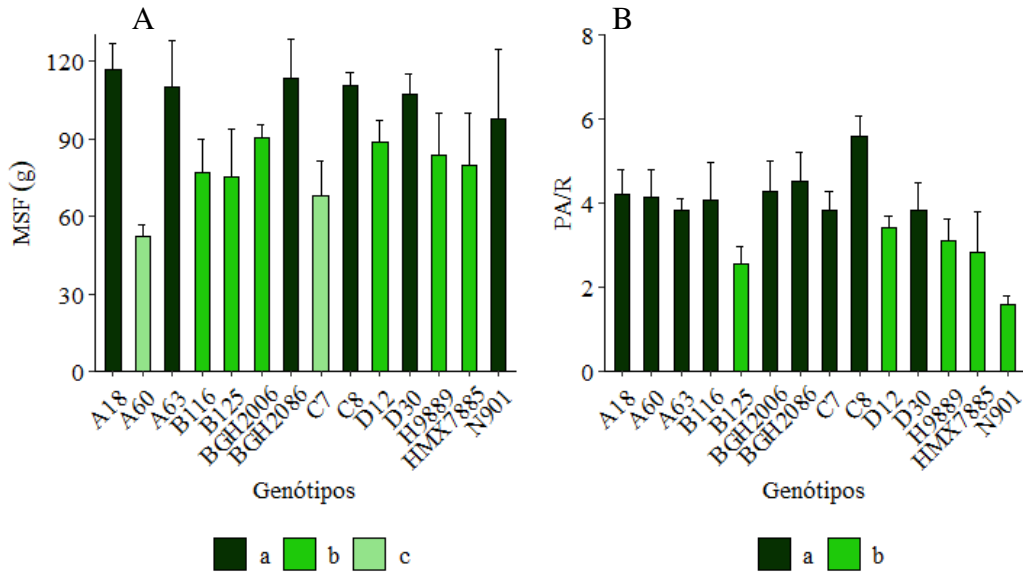
Cores diferentes agrupam genótipos, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

Fonte: Chagas (2022).

Com relação a massa seca de frutos foi possível observar a formação de três grupos, sendo os genótipos A18, A63, BGH2086, C8, D30 e N901 com maiores valores de massas; B116, B125, BGH2006, D12, H9889 e HMX7885, com valores intermediários e A60 e C7, com valores inferiores (Figura 3A).

Na variável razão parte aérea/raiz, foram observados dois agrupamentos, um formado pelos genótipos A18, A60, A63, B116, BGH2006, BGH2086, C7, C8 e D30, com valores superiores, quando comparado os genótipos B125, D12, H9889, HMX7885 e N901 (Figura 3B).

Figura 3 - Parâmetros biométricos para 14 genótipos de tomateiro. A, massa seca de frutos (MSF); B, razão parte área/raiz.



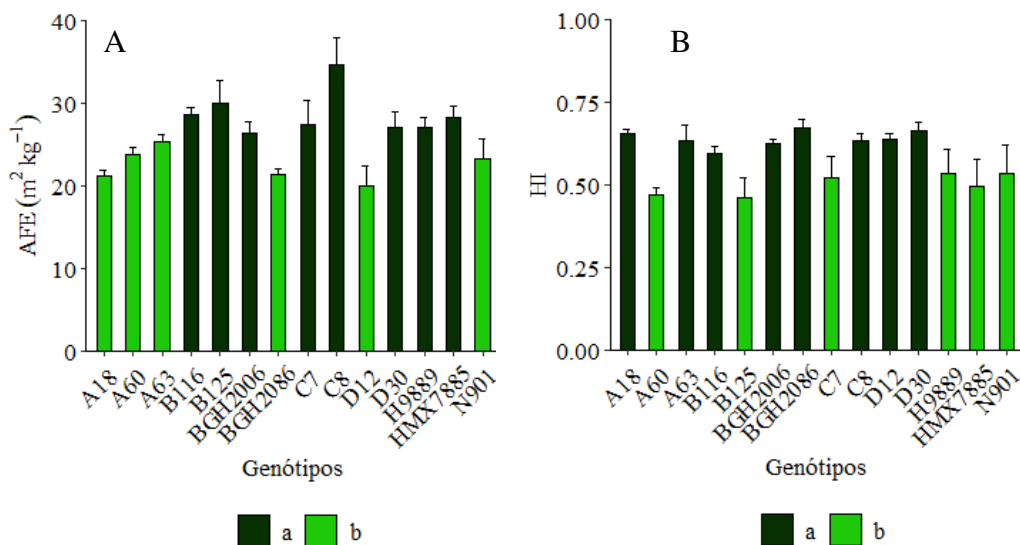
Cores diferentes agrupam genótipos, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Chagas (2022).

Para a variável AFE também foi possível observar a formação de dois grupos, sendo os maiores valores verificados nos genótipos B116, B125, BGH2006, C7, C8, D30, H9889 e HMX7885, quando comparado as demais linhagens (Figura 4A).

Quanto ao HI, os genótipos A18, A63, B116, BGH2006, BGH2086, C8, D12 e D30, apresentaram resultados superiores e diferentes das demais linhagens (Figura 4B).

Figura 4 - Parâmetros biométricos para 14 genótipos de tomateiro. A, área foliar específica (AFE); B, índice de colheita (HI).

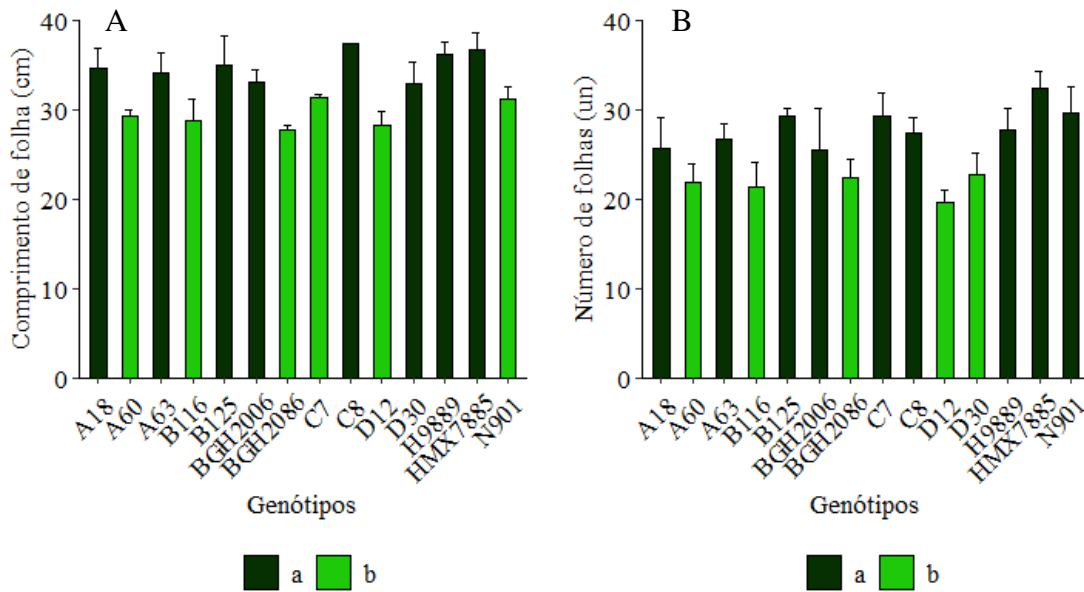


Cores diferentes agrupam genótipos, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

Fonte: Chagas (2022).

Com relação as características das folhas, para a variável comprimento, maiores valores foram observados para os genótipos A18, A63, B125, BGH2006, C8, D30, H9889 e HMX7885, diferindo das demais linhagens utilizadas (Figura 5A). Resultados semelhantes foram observados para o número de folhas, com exceção da linhagem D30, a qual apresentou valores inferiores e com o acréscimo dos genótipos C7 e N901, com valores superiores (Figura 5B).

Figura 5 - Parâmetros de crescimento de 14 genótipos de tomateiro. A, comprimento de folha; B, número de folhas.

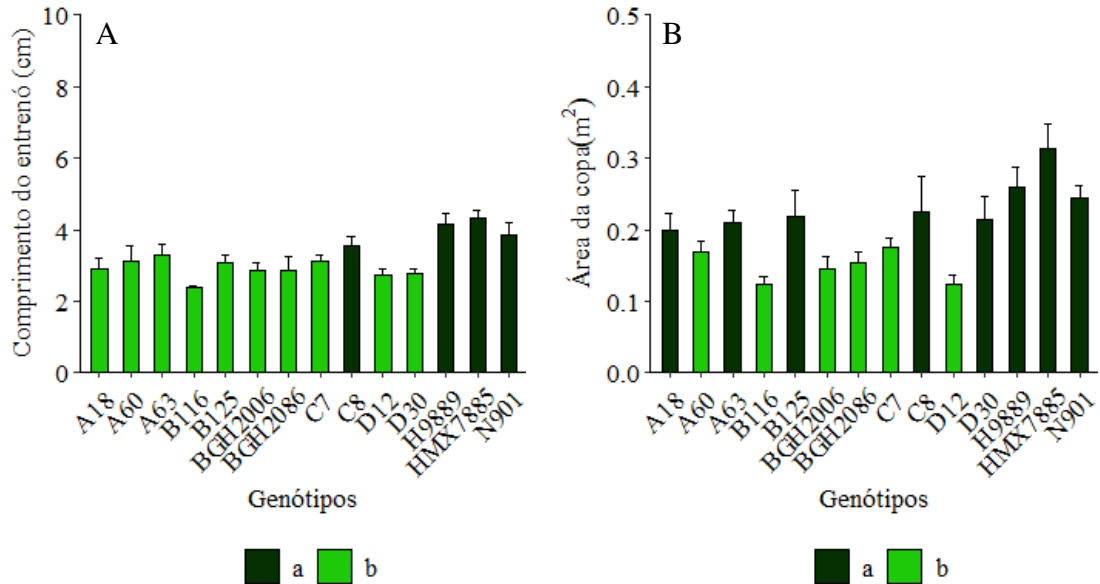


Cores diferentes agrupam genótipos, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

Fonte: Chagas (2022).

Com relação aos parâmetros de crescimento, para o comprimento do entrenó, os genótipos C8, H9889, HMX7885 e N901, foram estatisticamente iguais e diferentes das demais linhagens (Figura 6A). Já para área da copa, maiores valores foram observados nos genótipos A18, A63, B125, C8, D30, H9889, HMX7885 e N901, os quais foram superiores e diferentes dos demais genótipos analisados (Figura 6B).

Figura 6 - Parâmetros de crescimento de 14 genótipos de tomateiro. A, comprimento do entrenó; B, área da copa

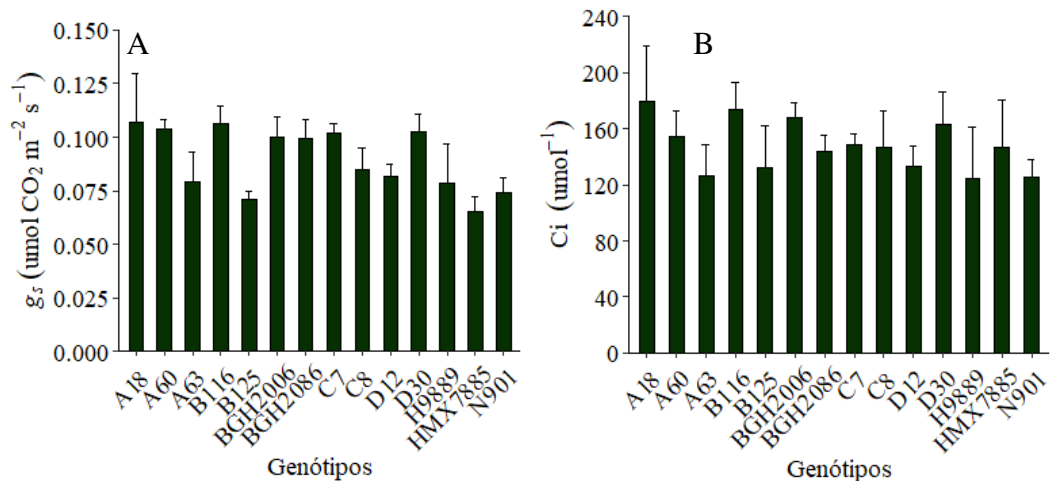


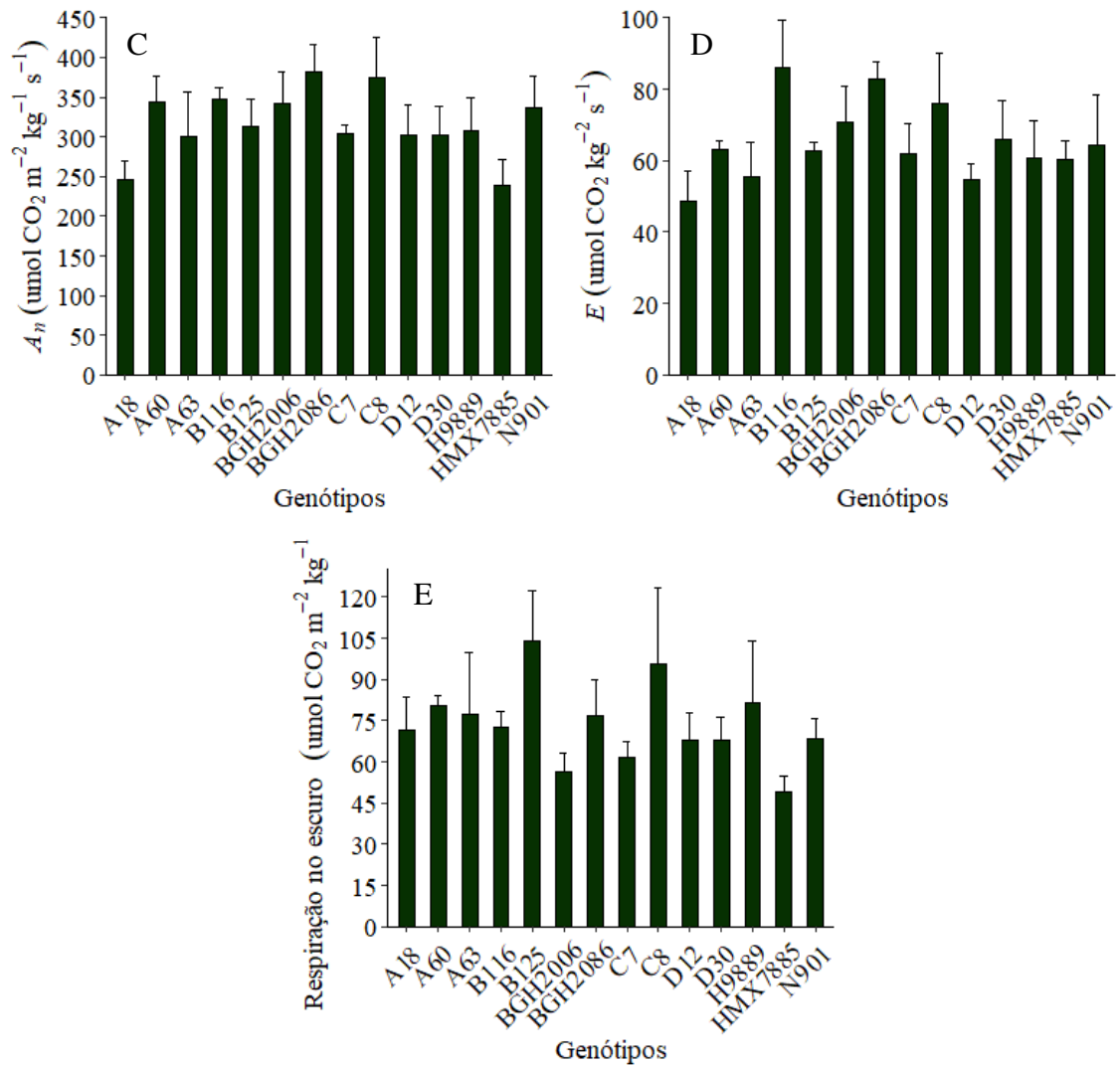
Cores diferentes agrupam genótipos, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Chagas (2022).

Com relação aos parâmetros fotossintéticos, não foi observada diferença entre os genótipos, para as variáveis condutância estomática, carbono interno, fotossíntese (com base em massa), transpiração (com base em massa) e respiração no escuro (Figuras 7A a 7E).

Figura 7 - Parâmetros fotossintéticos de 14 genótipos de tomateiro. A, condutância estomática, B, carbono interno, C, fotossíntese líquida; D, transpiração; E, respiração no escuro.

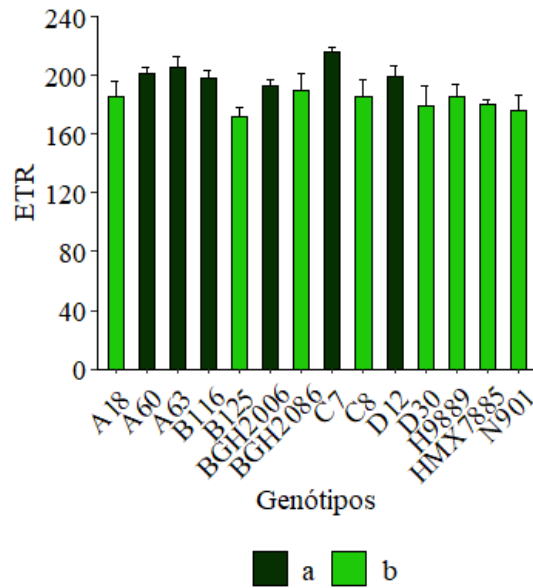




Fonte: Chagas (2022).

Na variável ETR foi observada a formação de dois grupos, um com os genótipos A60, A63, B116, BGH2006, C7 e D12 com valores superiores e diferentes do grupo formado pelas demais linhagens (Figura 8).

Figura 8 - Rendimento quântico da fotossíntese de 14 genótipos de tomateiro.



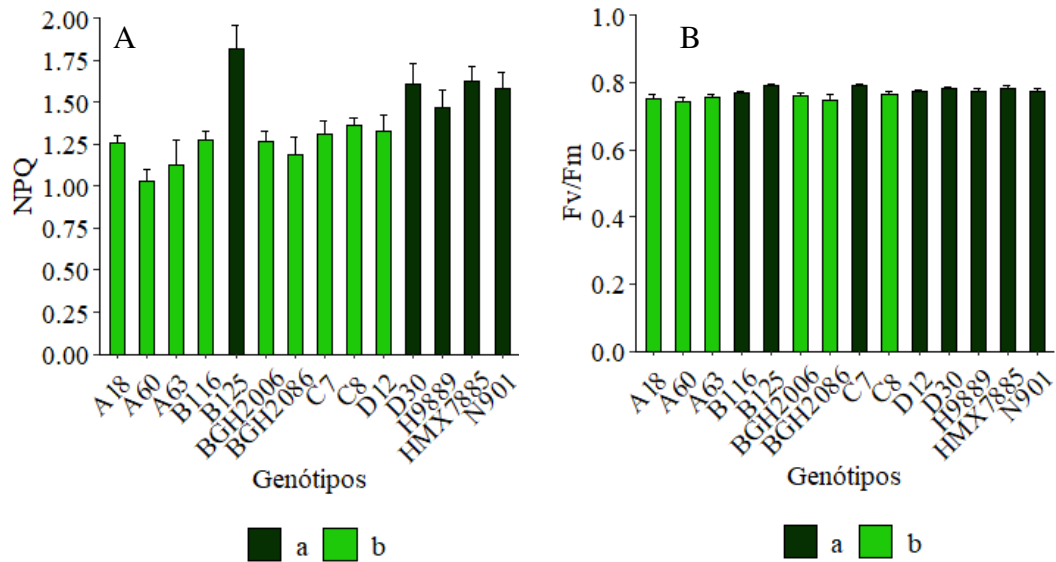
Cores diferentes agrupam genótipos, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Chagas (2022).

Para o quenching não fotoquímico (NPQ) foram formados dois grupos, um com os genótipos B12, D30, H9889, HMX7885 e N901, com valores superiores e outro grupo com as demais linhagens (Figura 9A).

Por fim, em relação ao parâmetro F_v/F_m , valores superiores foram observados para os genótipos B116, B125, C7, D12, D30, H9889, HMX7885 e N91, os quais foram iguais entre si e diferentes dos demais genótipos avaliados (Figura 9B).

Figura 9 - Parâmetros fotossintéticos de 14 genótipos de tomateiro. A, quenching não fotoquímico (NPQ); B, potencial máximo do rendimento quântico do PSII.

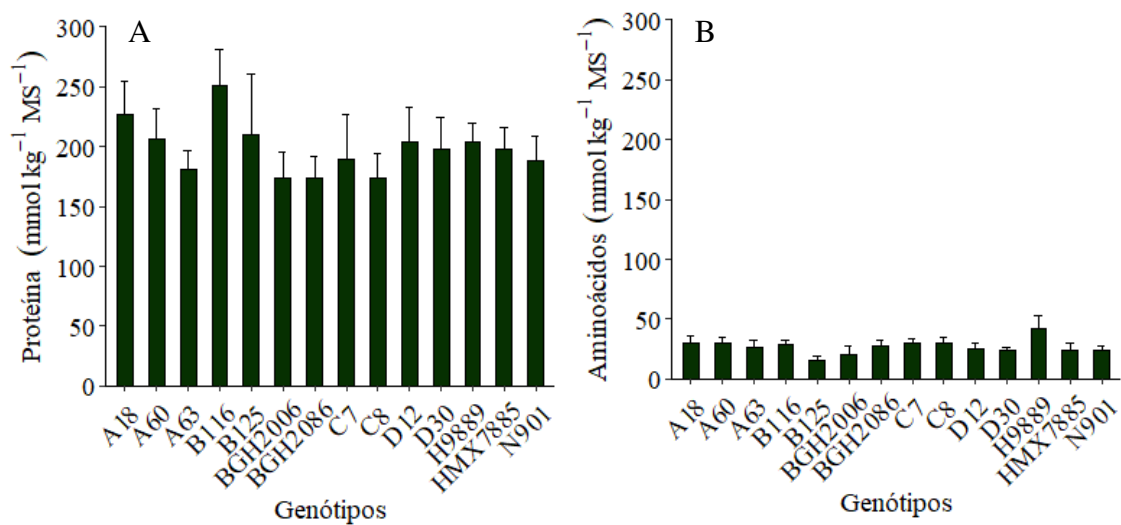


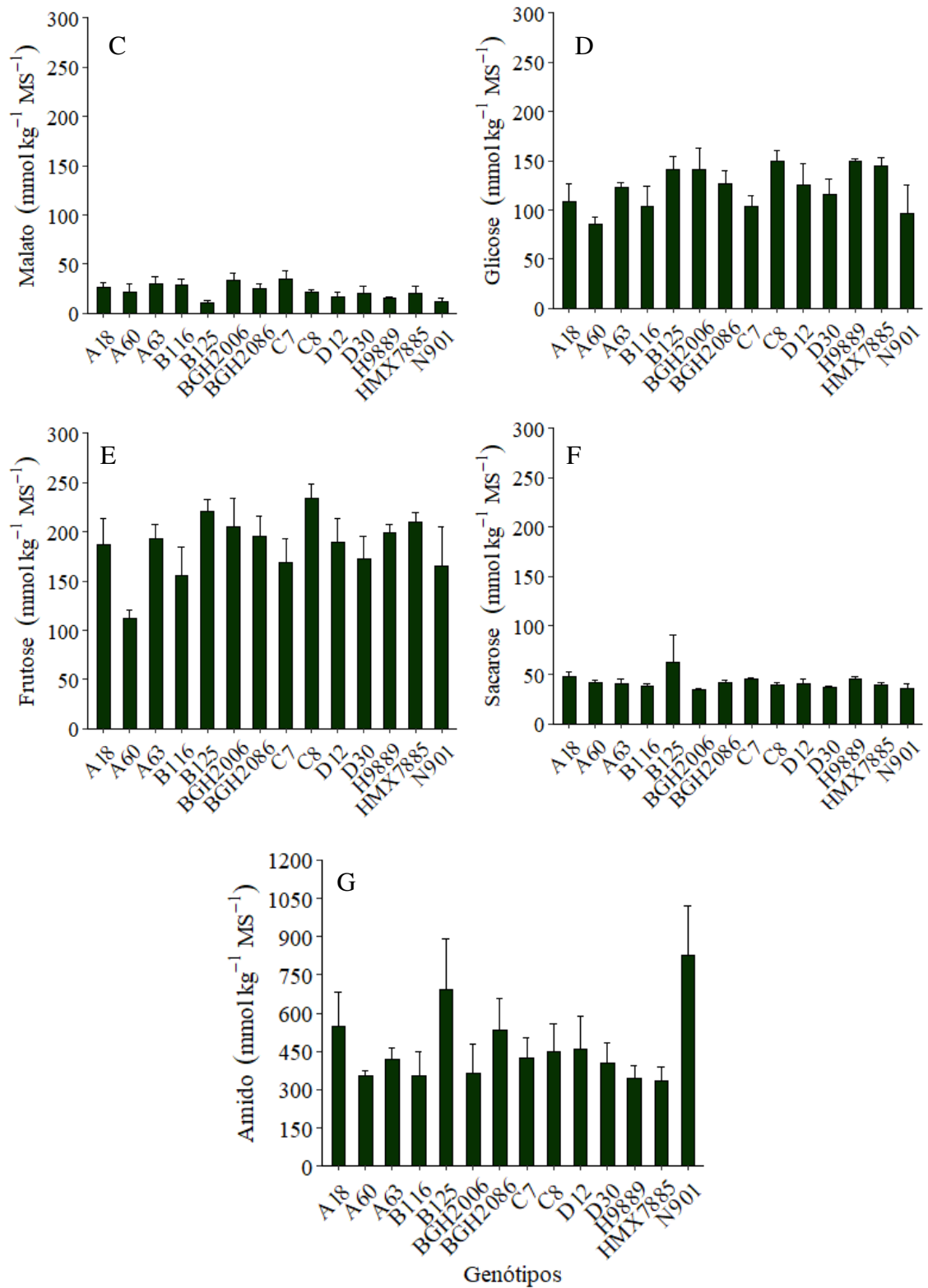
Cores diferentes agrupam genótipos, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Chagas (2022).

Nos parâmetros metabólicos, não foram observadas diferenças entre os genótipos, para as variáveis proteína, aminoácidos, malato, glicose, frutose, sacarose e amido (Figuras 10A a 10G).

Figura 10 - Parâmetros metabólicos de 14 genótipos de tomateiro. A, proteínas; B, aminoácidos; C, malato, D, glicose; E, frutose, F, sacarose; G, amido.

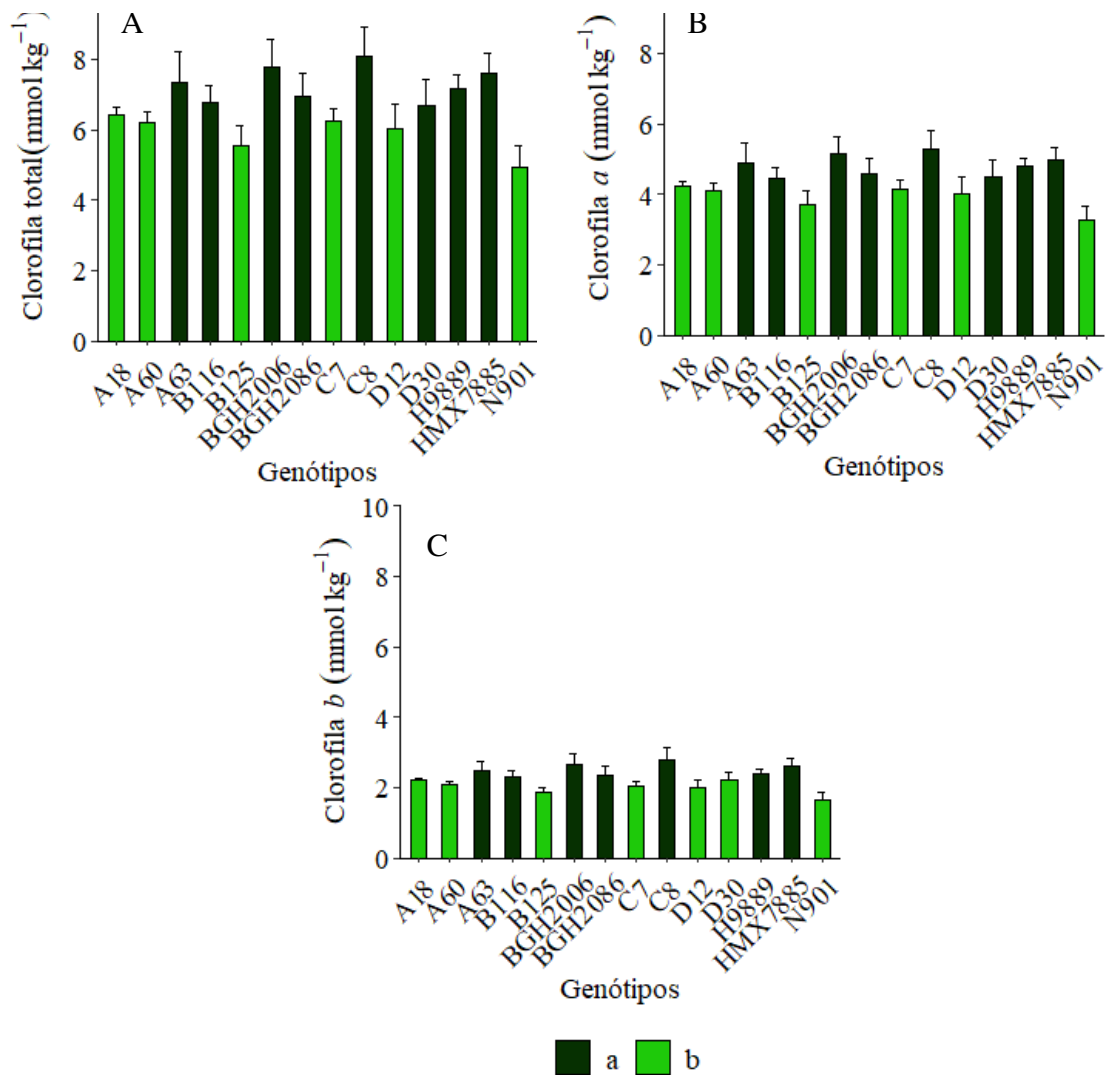




Fonte: Chagas (2022).

Com relação as clorofilas, resultados iguais foram observados, destacando-se os genótipos A63, B116, BGH2006, BGH2086, C8, D30, H9889 e HMX7885, com valores superiores de clorofila total (Figura 11A) e clorofila a (Figura 11B), quando comparadas as demais linhagens. Para a clorofila b, resultado semelhante foi observado, com exceção da linhagem D30, a qual apresentou um valor mais baixo de clorofila, quando comparado os genótipos citados (Figura 11C).

Figura 11 - Parâmetros fotossintéticos de 14 genótipos de tomateiro. A, Clorofila total; B, clorofila a; C, clorofila b.

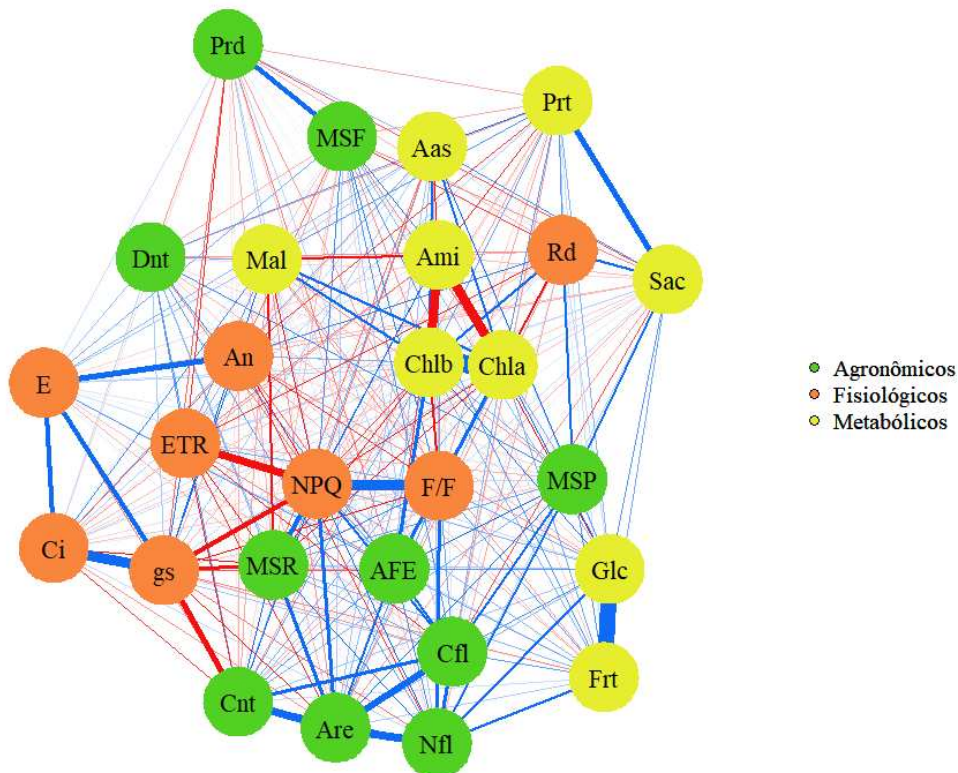


Cores diferentes agrupam genótipos, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Chagas (2022).

Na figura 12 está apresentada uma rede de correlações com todas as características avaliadas em cada parâmetro. Por meio dela é possível observar uma alta correlação negativa entre as variáveis, amido, clorofila a e clorofila b, bem como entre ETR e NPQ, a qual, por sua vez apresenta correlação mediana com a condutância estomática e o comprimento do entrenó (Cnt). Entre as correlações positivas podemos observar alto valor entre o carbono interno (Ci) e condutância estomática (gs), entre o NPQ e Fv/Fm (F/F) e entre a glicose e frutose. A maior parte das correlações positivas observadas são medianas, entre fotossíntese líquida (An), transpiração (E) e carbono interno (Ci); entre comprimento de folha (Cfl), número de folíolos (Nfl), área de copa (Are), e comprimento do entrenó e por fim, entre proteínas e sacarose.

Figura 12 - Rede de correlação entre os parâmetros agronômicos, fisiológicos e metabólicos. MSF, massa fresca de fruto, Prd, produção de frutos por planta; AFE, área foliar específica; MSP, massa seca de plantas, Nfl, número de folíolos; Cfl, MSR, massa seca de raiz; Dcp, are, área de copa; Cnt, comprimento de entrenó; Dnt, distância entre entrenó; Prt, proteínas; Sac, sacarose; Ami, amido; Frt, frutose; Glc, glicose; Chlb, clorofila b; Chla, clorofila a; Aas, aminoácidos; Mal, malato; Ci, carbono interno; ETR, Rendimento quântico da fotossíntese; gs, condutância estomática; E, transpiração; An, fotossíntese líquida, Rd, respiração no escuro. Linhas vermelhas e azuis, indicam correlação negativa e positiva, respectivamente.



Fonte: Chagas (2022).

4 DISCUSSÃO

O desenvolvimento de novas cultivares de tomateiro com porte reduzido é uma tendência para o mercado (SUN *et al.*, 2019), com grande potencial para a utilização *in natura* (FINZI *et al.*, 2017, 2020; FRASCA *et al.*, 2014; MACIEL; SILVA; FERNANDES, 2015; SOARES DE OLIVEIRA *et al.*, 2021), assim como potencial para o cultivo espacial (SPENCER *et al.*, 2019).

Conforme os resultados, nota-se que, para a variável comprimento da haste principal, não houve diferenças entre os genótipos, o que não era esperado, em virtude desta, ser uma das características do fenótipo anão (TGRC, 2022). Uma vez que os genótipos associados ao gene *d* (*dwarf*), gene DELLA, apresentam redução da altura, quando comparados aos fenótipos normais, esses resultados podem dar indícios sobre quais genes estão envolvidos no fenótipo anão (MARTI, 2006; TOMLINSON *et al.*, 2018).

Porém a similaridade do comprimento da haste principal, pode ser explicada pelo hábito de crescimento determinado, devido a presença do gene *self pruning*, o qual determina a regulação da altura das plantas, bem como altera a arquitetura do dossel (CARMEL-GOREN *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2018).

Vale ressaltar que, apesar de possuírem comprimento da haste principal similares, as linhagens anãs apresentaram menores valores de comprimento dos entrenós, quando comparados aos híbridos comerciais, com exceção da linhagem C8. A redução dos entrenós é característica do fenótipo anão (MARTI, 2006; XIAO *et al.*, 2006), sendo muito importante do ponto de vista agrônomo, em que as plantas conseguem aumentar a sua capacidade produtiva pelo maior número de inflorescências, o que pode acarretar em aumento da produção por planta.

Uma outra característica associada aos fenótipos anões é a redução das folhas e o seu escurecimento, que leva a uma maior espessura, aumento da AFE, o que geralmente, é relacionado a deficiência de giberelina (FAN *et al.*, 2016; ID *et al.*, 2018; MARTI, 2006; MARTINS *et al.*, 2019). Porém, esses genótipos não apresentaram essa característica, sendo similares aos híbridos comerciais. Mesmo com valores similares, há variabilidade para essa característica (Apêndice 1). A ausência dessa característica nos genótipos estudados, pode auxiliar na elucidação do mecanismo de nanismo dessas plantas, ou mesmo indicar que, o cruzamento e o avanço de gerações foram eficazes para quebrar a ligação entre essas características e selecionar os genótipos com a ausência da giberilina.

Além da redução dos entrenós, os resultados indicaram que as linhagens anãs, em sua maioria, apresentaram valores de comprimento de folha similares, porém com redução da área da copa, quando comparadas aos híbridos comerciais. Com a alteração da morfologia, principalmente do dossel das plantas, outras características são influenciadas, como interceptação de luz, a qual influencia diretamente a atividade fotossintética das plantas (Sarlikioti et al., 2011). Assim, mesmo com a menor área da copa dos materiais anões, a *An*, *gs*, *E* e *Rd* não diferiram para os genótipos testados, o que indica que a redução no porte das plantas não afeta o aparato fotossintético.

Os resultados encontrados neste estudo corroboram com trabalhos que indicam que o nanismo afeta positivamente a fotossíntese (LI *et al.*, 2016; MARTINS *et al.*, 2019; NAGEL; KONINGS; LAMBERS, 2001; OMENA-GARCIA *et al.*, 2019). Da mesma maneira Seus (2015) não encontrou diferenças entre os genótipos e as testemunhas comerciais, para essas características

Os parâmetros fotossintéticos não foram afetados pelo nanismo, os metabólitos das folhas foram estatisticamente semelhantes para todas os genótipos testados, reforçando que o nanismo não afeta o metabolismo das plantas, quando comparados aos híbridos comerciais. Isso pode ser explicado pelo acúmulo de amido nas folhas, o qual está correlacionado negativamente com a quantidade de clorofila, isso ocorre pois o amido é armazenado nas folhas e depois é quebrada em glicose para posteriormente ser translocado para as demais partes da planta (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Apesar de não serem detectadas diferenças na assimilação de carbono e na produção de plantas entre os fenótipos anões e os fenótipos de crescimento normal, a alocação de biomassa das plantas foi remodelada. A massa seca total das plantas foi menor para as plantas com o fenótipo anão, com exceção do genótipo B125, que foi similar aos híbridos comerciais. Isso pode ser explicado devido as diferenças encontradas na alocação da biomassa das plantas, uma vez que plantas de fenótipo anão, possuem menor biomassa de raiz, quando comparados aos genótipos normais.

Os resultados encontrados nesse trabalho, diferem dos observados por outros autores, em que a massa seca de raiz dos genótipos com o fenótipo anão induzidos pela deficiência de giberelina, acumularam maior massa na raiz, devido a maior sensibilidade desses tecidos do que da parte aérea (MARTINS *et al.*, 2019; NAGEL; KONINGS; LAMBERS, 2001, SEUS, 2015).

Devido as alterações na alocação de biomassa, o HI foi alterado, sendo que, a maior parte dos genótipos anões, apresentaram maiores valores de índice de colheita, quando

comparados as plantas com o fenótipo normal. Com a inserção de genes para a redução do porte das plantas, espera-se o aumento do índice de colheita, que é a partição dos fotoassimilados para a parte comerciável das plantas (SINCLAIR, 1998), sendo essa característica uma vantagem do ponto de vista produtivo. No tomateiro, o aumento do índice de colheita em detrimento da arquitetura das plantas foi notado ao longo dos anos, em cultivares de tomate industrial, com a inserção do hábito determinado e redução do dossel (BARRIOS-MASIAS; JACKSON, 2014; RONGA *et al.*, 2019). Os genótipos testados nesse estudo são promissores quanto ao uso para o aumento dessa característica.

Desta forma os genótipos estudados apresentaram boa capacidade produtiva e características de fenótipo anão. Como essas linhagens são oriundas do programa de melhoramento de tomateiro da UFV, algumas características consideradas indesejáveis, relacionadas ao fenótipo anão, não são encontradas, devido a efetividade da seleção. Porém, o mecanismo que gerou as alterações encontradas nos materiais ainda não foi elucidado, sendo necessário estudos buscando identificar seja o gene, ou QTL responsável por estas alterações, para que possa ser incorporado em programas de melhoramento.

5 CONCLUSÕES

O nanismo não causou alterações no metabolismo e nos parâmetros fotossintéticos, bem como não alterou a capacidade produtiva dos materiais.

O nanismo alterou a morfologia das plantas pela redução do comprimento dos entrenós e a área da copa, o que permite o adensamento das plantas, esperando que assim se aumente a produtividade. Além disso, houve o aumento do índice de colheita dos genótipos, característica que vem aumentando ao longo dos ciclos de melhoramento.

REFERENCIAS

- BARRIOS-MASIAS, Felipe H.; JACKSON, Louise E. California processing tomatoes: Morphological, physiological and phenological traits associated with crop improvement during the last 80 years. **European Journal of Agronomy**, v. 53, p. 45–55, 2014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1161030113001573>.
- 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, 1996. Disponível em: <http://www.plantcell.org/lookup/doi/10.1105/tpc.8.6.959>.
- CARMEL-GOREN, Lea *et al.* The self-pruning gene family in tomato. **Plant Molecular Biology**, v. 52, n. 6, p. 1215–1222, 2003.
- EPSKAMP S, CRAMER AOJ, WALDORP LJ, SCHMITTMANN VD, BORSBOOM D (2012). “**qgraph: Network Visualizations of Relationships in Psychometric Data.**” *Journal of Statistical Software*, 48(4), 1–18.
- FAN, Mingqin *et al.* Overexpression of SIRBZ Results in Chlorosis and Dwarfism through Impairing Chlorophyll, Carotenoid, and Gibberellin Biosynthesis in Tomato. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2016. Disponível em: <http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fpls.2016.00907/abstract>.
- FINZI, Rafael Resende *et al.* Agronomic potential of BC1F2 dwarf round tomato populations. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542020000100205&tIng=en.
- FINZI, Rafael Resende *et al.* GROWTH HABIT IN MINI TOMATO HYBRIDS FROM A DWARF LINE HERANÇA DO HÁBITO DE CRESCIMENTO DE HÍBRIDOS DE MINITOMATE OBTIDOS POR UMA LINHAGEM ANÃ. p. 52–56, 2017.
- FRASCA, Aline Coelho *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, 2014. Disponível em: <https://journals.ashs.org/view/journals/hortsci/49/12/article-p1529.xml>.
- HEDDEN, Peter. The genes of the Green Revolution. **Trends in genetics : TIG**, v. 19, n. 1,

p. 5–9, 2003. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12493241>.

ID, Abdur Rahim *et al.* Comparative transcriptome analysis provides insights into dwarfism in cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var . *cerasiforme*). p. 1–21, 2018.

LI, Xiao-jing *et al.* Overexpression of a brassinosteroid biosynthetic gene Dwarf enhances photosynthetic capacity through activation of Calvin cycle enzymes in tomato. **BMC Plant Biology**, p. 1–12, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1186/s12870-016-0715-6>.

LIU, Xiaolin *et al.* SIGID1a Is a Putative Candidate Gene for qtph1.1, a Major-Effect Quantitative Trait Locus Controlling Tomato Plant Height. **Frontiers in Genetics**, v. 11, 2020. Disponível em:

https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2020.00881?utm_source=researcher_app&utm_medium=referral&utm_campaign=RESR_MRKT_Researcher_inbound.

MACIEL, GABRIEL MASCARENHAS; SILVA, ERNANI CLARETE DA; FERNANDES, MARCO AURÉLIO ROCHA. OCORRÊNCIA DE NANISMO EM PLANTA DE TOMATEIRO DO TIPO GRAPE. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 259–264, 2015.

Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252015000400259&lng=pt&tlng=pt.

MARTI, E. Genetic and physiological characterization of tomato cv. Micro-Tom. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 9, p. 2037–2047, 2006a. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/erj154>.

MARTI, E. Genetic and physiological characterization of tomato cv. Micro-Tom. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 9, p. 2037–2047, 2006b. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/erj154>.

MARTINS, Auxiliadora O *et al.* Differential root and shoot responses in the metabolism of tomato plants exhibiting reduced levels of gibberellin. **Environmental and Experimental Botany**, v. 157, n. November 2018, p. 331–343, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.036>.

NAGEL, Oscar W.; KONINGS, Henk; LAMBERS, Hans. Growth rate and biomass partitioning of wildtype and low-gibberellin tomato (*Solanum lycopersicum*) plants growing at a high and low nitrogen supply. **Physiologia Plantarum**, v. 111, n. 1, p. 33–39, 2001. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1034/j.1399-3054.2001.1110105.x>.

OMENA-GARCIA, Rebeca Patrícia *et al.* Growth and metabolic adjustments in response to

gibberellin deficiency in drought stressed tomato plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 159, n. September 2018, p. 95–107, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.12.011>.

R Core Team (2021). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

RONGA, Domenico *et al.* Changes in yield components, morphological, physiological and fruit quality traits in processing tomato cultivated in Italy since the 1930's. **Scientia Horticulturae**, v. 257, p. 108726, 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423819306120?dgcid=rss_sd_all.

SCHRAGER-LAVELLE, Amanda *et al.* The role of a class III gibberellin 2-oxidase in tomato internode elongation. **The Plant Journal**, v. 97, n. 3, p. 603–615, 2019. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/tpj.14145>.

SHIMIZU G, MARUBAYASHI R, GONCALVES L (2022). **AgroR: Experimental Statistics and Graphics for Agricultural Sciences**.

https://agronomiar.github.io/AgroR_package/index.html,
https://agrorproject.shinyapps.io/agror_shiny/.

SILVA, Willian B. *et al.* SELF-PRUNING Acts Synergistically with DIAGEOTROPICA to Guide Auxin Responses and Proper Growth Form. **Plant Physiology**, v. 176, n. 4, p. 2904–2916, 2018. Disponível em: <https://academic.oup.com/plphys/article/176/4/2904-2916/6117039>.

SINCLAIR, Thomas R. Historical Changes in Harvest Index and Crop Nitrogen Accumulation. **Crop Science**, v. 38, n. 3, p. 638, 1998. Disponível em: <https://www.crops.org/publications/cs/abstracts/38/3/CS0380030638>.

SOARES DE OLIVEIRA, Camila *et al.* Artificial neural networks and genetic dissimilarity among saladette type dwarf tomato plant populations. **Food Chemistry: Molecular Sciences**, v. 3, p. 100056, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666566221000472>.

SPENCER, Lashelle E *et al.* Dwarf Tomato and Pepper Cultivars for Space Crops. **49th International Conference on Environmental Systems**, n. July, p. 1–15, 2019. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20190027725>.

SUN, Xiao-rong *et al.* Genetic analysis of tomato internode length via mixed major gene plus

polygene inheritance model. **Scientia Horticulturae**, v. 246, n. September 2018, p. 759–764, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.044>.

SUN, Xiaorong *et al.* Identification and Characterization of EI (Elongated Internode) Gene in Tomato (*Solanum lycopersicum*). **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 9, p. 2204, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/9/2204>.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. [S. l.: s. n.], 2017-. ISSN 03074412. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0307441276901217>.

TGRC. **Tomato Genetics Resource Center**. 2022. Disponível em: <https://tgrc.ucdavis.edu/Data/Acc/dataframe.aspx?start=GenSearch.aspx&navstart=nav.html&start=GenSearch.aspx&navstart=nav.html> .

TOMLINSON, Laurence *et al.* Using CRISPR/Cas9 genome editing in tomato to create a gibberellin-responsive dominant dwarf DELLA allele. **Plant Biotechnology Journal**, 2018.

XIAO, Jinghua *et al.* Dissection of GA 20-oxidase members affecting tomato morphology by RNAi-mediated silencing. **Plant Growth Regulation**, v. 50, n. 2–3, p. 179–189, 2006.

**APLICAÇÃO DE MEDIDAS REPETIDAS E COEFICIENTES DE
REPETIBILIDADE EM GENÓTIPOS DE TOMATEIRO (*Solanum lycopersicum L.*)**

CAPÍTULO 2

APLICAÇÃO DE MEDIDAS REPETIDAS E COEFICIENTES DE REPETIBILIDADE EM GENÓTIPOS DE TOMATEIRO (*Solanum lycopersicum* L.)

RESUMO

Chagas, Rafael Ravaneli, MSc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2022. Capítulo II. **Uso de medidas repetidas e coeficientes de repetibilidade em genótipos de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.)** Orientador: Derly José Henriques da Silva

O tomateiro é uma das culturas hortícolas de maior importância econômica e social. Nos programas de melhoramento de tomateiro, a realização de seleção precoce para características morfológicas das plantas não é algo simples, devido à natureza destas características e por ser necessária a realização de mais de uma avaliação para encontrar o ponto ótimo para a seleção. Com isso, o objetivo deste trabalho foi a estimação dos coeficientes de repetibilidade e o número ótimo de medidas para a seleção de genótipos de tomateiro com crescimento determinado. Foram avaliados 14 genótipos de tomateiro com crescimento determinado em blocos ao acaso com 5 repetições, quanto a altura de plantas, comprimento de entrenós, diâmetro do entrenó e área da copa em 4 períodos diferentes do ciclo vegetativo, com 15, 22, 29 e 36 dias após o transplante. Foi utilizada a metodologia REML/BLUP para estimar os componentes de variância e os coeficientes de repetibilidade. As características altura de planta, comprimento de folhas e comprimento de entrenós, apresentaram altos valores de repetibilidade. A eficiência seletiva e a herdabilidade aumentaram ao longo das medições, com ganhos mais expressivos até a terceira medição. Com isso, o uso de medidas repetidas pode ser aplicado ao tomateiro para a seleção precoce de características de crescimento.

Palavras-chave: Herdabilidade. Dados longitudinais. Coeficiente de repetibilidade. Coeficiente de determinação. Acurácia.

**USE OF REPEATED MEASURE AND REPEATIBILITY COEFFICIENT IN
TOMATO GENOTYPES (*Solanum lycopersicum L.*)**

ABSTRACT

Chagas, Rafael Ravaneli, MSc., Universidade Federal de Viçosa, August of 2022. Chapter II. **Use of repeated measure and repeatability coefficient in tomato genotypes (*Solanum lycopersicum L.*)**. Adviser: Derly José Henriques da Silva.

Tomato (*Solanum lycopersicum L.*) is one of the most economically and socially important vegetable crops. In tomato breeding programs, performing early selection for plant morphological traits is not simple due to the nature of these traits and because it is necessary to carry out more than one evaluation to find the optimal point for selection. Thus, the objective of this work was to estimate the repeatability coefficients and the optimal number of measurements for the selection of tomato genotypes with determined growth. Fourteen tomato genotypes with determined growth were evaluated in randomized blocks with 5 replications and evaluated the plant height, internode length, internode diameter and canopy area in 4 different periods of the vegetative period 15, 22, 29 and 36 days after transplantation. The REML/BLUP methodology was used to estimate variance components and repeatability coefficients. The characteristics height, leaf length and internode length showed high repeatability values. The selective efficiency and the heritability increased along the measurements, with more expressive gains until the third measurement was performed. Thus, the use of repeated measures can be applied to tomato plants for the early selection of growth traits.

Key words: Heritability; selection efficiency; mixed models; early selection; growing

1 INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma cultura que apresenta grande importância econômica e social. Considerada uma das olerícolas mais importantes do mundo, o seu consumo pode ser feito de forma *in natura*, como também processada, na forma de molhos, polpas e demais produtos derivados da industrialização dos frutos.

O tomateiro destinado ao processamento apresenta crescimento determinado e frutos em formato oblongo, com altos teores de sólidos solúveis. Uma outra característica marcante desse grupo, é o hábito de crescimento determinado, dado pela presença do gene *sp* (self-pruning), que faz com que o crescimento das plantas ocorra até a emissão dos botões florais, alterando a arquitetura da planta e permitindo a utilização de colheita mecanizada (CARMEL-GOREN *et al.*, 2003; YEAGER, 1927).

Avaliar o crescimento das plantas a fim de se realizar a seleção em estágios iniciais, pode não ser uma tarefa muito fácil, pois essas características são, em sua maioria, quantitativas e muito influenciadas pelo ambiente no qual estão inseridas.

Assim, uma das formas de se avaliar o crescimento é por meio da utilização de modelos matemáticos específicos para a característica, os quais podem estimar o crescimento e até mesmo a produção das plantas, com base em outras componentes (PAINE *et al.*, 2012). Porém, a sua utilização ainda é incipiente dentro do melhoramento de plantas, para a realização de seleção.

Dessa forma, buscando-se realizar a seleção de plantas, muitos modelos levam em consideração as variáveis ao longo do tempo (dados longitudinais), são os modelos de repetibilidade, o qual considera as medições realizadas em diferentes períodos (RESENDE, 2015). Estes modelos buscam identificar o número ideal de medidas a serem realizadas mediante coeficientes de repetibilidade. Com a utilização desses modelos existe a criação de correlação entre as observações, o que desrespeita um dos princípios da ANOVA, que é a independência entre observações, e pode levar a heterogeneidade de variância e covariância ao longo das medidas (KOZAK; PIEPHO, 2018).

Assim, a utilização de análises de repetibilidade via modelos mistos é uma alternativa quando se tem dados longitudinais, pois essa abordagem permite o estudo de estruturas de variância e covariância complexas e heterogêneas, bem como a utilização de dados desbalanceados (BALZARINI, 2002).

Os modelos de repetibilidade tem grande aplicação no melhoramento de plantas forrageiras perenes (BRITO DA SILVA *et al.*, 2020; FERREIRA *et al.*, 2020; ROCHA;

MACHADO; CARNEIRO, 2018; STIDA *et al.*, 2018), como também vem sendo utilizados para culturas em que, ocorrem várias colheitas ao longo do tempo (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2020; DA SILVA SALES *et al.*, 2019, RESENDE *et al.*, 2020, Moreira *et al.*, 2021).

Estudos sobre o uso da repetibilidade em culturas hortícolas, visando o estudo de medidas fenotípicas realizadas em características morfológicas, com aplicação para o melhoramento, são escassos.

Diante do exposto, objetivou-se com a presente pesquisa proceder com a estimação dos coeficientes de repetibilidade e o número ótimo de medidas para a seleção de genótipos de tomateiro de crescimento determinado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material experimental e avaliações fenotípicas

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Viçosa (200 45'14'' S, 420 52'53'' W e 648,74 m), no período de julho a novembro de 2018, em casa de vegetação. A condução foi realizada em vasos com capacidade de 20 dm³, com uma mistura de solo areia e esterco bovino na proporção de 2:1:1.

Como material vegetal foram utilizadas 11 linhagens anãs do Banco de Germoplasma de Hortaliças (BGH-UFV), com o gene anão e três híbridos comerciais (N901, H9889 e HMX7885), todos os materiais testados apresentam hábito de crescimento determinado. O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso, com 10 repetições.

Para avaliar o crescimento das plantas, foram utilizadas as características: Altura das plantas (cm), que foi tomada levando em consideração da base do solo até o broto terminal da planta; Comprimento dos entrenós (cm): distância tomada entre o segundo e o terceiro nó do caule; Diâmetro do entrenó: tomado no segundo entrenó da planta; Área da copa (cm²): a área foi calculada a partir dos comprimentos maiores e menores da copa e inseridas na fórmula $a = (L_{maior} \times L_{menor}) / 2$ onde: L_{maior} : maior distância da copa; L_{menor} : menor distância da copa.

Foram realizadas 4 medidas ao longo do período vegetativo: aos 15, 22, 29 e 36 DAT (Dias Após o Transplântio), após a antese dos materiais as medições foram finalizadas.

2.2 Análises estatísticas

Foi empregada a metodologia REML/BLUP (verossimilhança máxima restrita/melhor preditor linear enviesado) para a estimação dos componentes genéticos e predição dos valores genotípicos de acordo com o proposto por Patterson; Thompson, 1971 e Henderson; Quaas, 1976. O modelo da repetibilidade foi representado por meio da equação abaixo:

$$y = Xm + Zg + Wb + Ti + Qp + e$$

Em que: y é o vetor das médias fenotípicas; m é o vetor dos efeitos das combinações medição-repetição somados a média geral; g é o vetor dos efeitos genotípicos (aleatórios); b é o efeito dos blocos (aleatórios); i é o efeito da interação genótipos x medições; p é o valor dos efeitos das parcelas; e e é o vetor dos erros aleatórios. As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

As análises estatísticas foram realizadas no software estatístico Selegen REML/BLUP (RESENDE, 2016).

3 RESULTADOS

De acordo com os resultados da Tabela 1, todas as características avaliadas foram significativas pelo teste LRT para genótipos, efeito de ambiente permanente e interação entre os genótipos e medidas. Esses resultados mostram que a população estudada apresenta variabilidade genética e que a cada medição realizada, existem diferenças de resposta para as medições em um mesmo genótipo.

Tabela 1 - Deviance e teste de verossimilhança (LRT) genéticos para as características: Altura de plantas (Alt), Comprimento de folhas (Comp. folhas), diâmetro de entrenós (Diam Entre), comprimento de entrenós (Comp. Entre) e área da copa (Area) avaliados em 14 genótipos de tomate durante quatro medições realizadas.

Efeito	Alt		Comp. Folhas		Diam. Entre		Comp. Entre		Area	
	Dev	LRT	Dev	LRT	Dev	LRT	Dev	LRT	Dev	LRT
Genótipo	1266.17	61*	1234.29	43.32*	75.31	12.65*	-17.52	59*	5304.27	12.79*
Amb perm	1315.65	110.48 *	1277.61	137.67 *	155.95	93.29*	108.51	185.03 *	5361.16	69.68*
Gen x Med	1282.36	77.19*	1371.96	130.95*	84.91	22.25*	-53.63	22.89*	5532.37	240.89 *
Comp	1205.17		1234.29		62.66		-76.52		5291.48	

De acordo com a tabela 2, o diâmetro dos entrenós apresenta o menor valor de herdabilidade, 0,16, enquanto a altura apresentou o maior valor, 0,62. Os valores de herdabilidade irão influenciar diretamente no ganho de seleção. Ainda de acordo com a tabela,

os coeficientes de repetibilidade foram menores para o diâmetro de entrenós e a área da copa, além de apresentarem valores entre 0,40 e 0,75, para todas as características. Os valores de C_{ve} ficaram todas abaixo dos 10% indicando boa qualidade experimental.

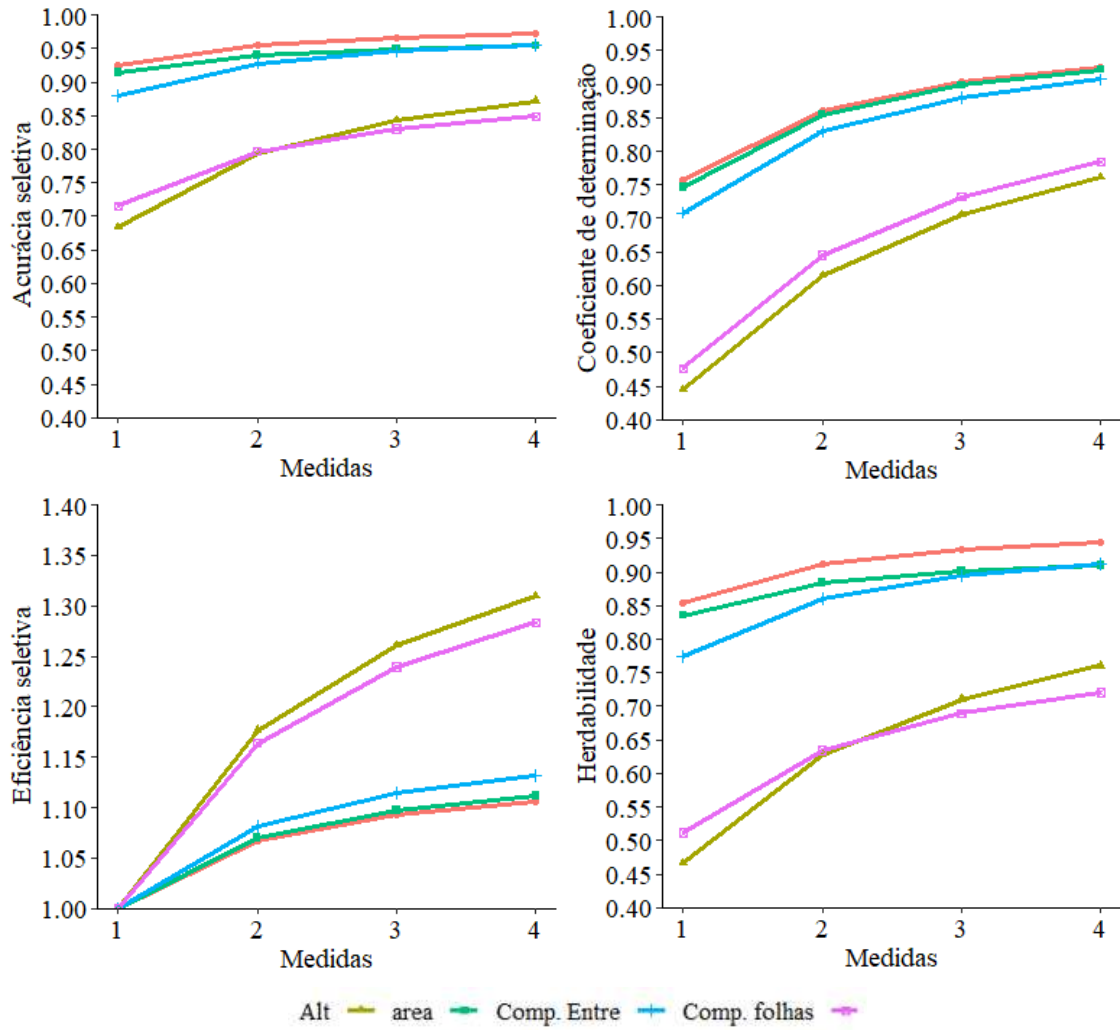
Tabela 2 – Componentes de variância genéticos e não genéticos para as características: Altura de plantas (Alt), Comprimento de folhas (Comp. folhas), diâmetro de entrenós (Diam Entre), comprimento de entrenós (Comp. Entre) e área da copa (Area) avaliados em 14 genótipos de tomate durante quatro medições realizadas.

Comp/Param	Características				
	Alt	Comp. folhas	Diam. Entre	Comp. Entre	Área
σ^2_g	6.2476	5.3881	0.0767	0.2925	6185.9046
σ^2_{perm}	1.4023	1.7084	0.1527	0.1932	2458.9502
σ^2_{gm}	0.7568	1.2305	0.0364	0.0243	6378.3043
σ^2_e	1.7056	1.6894	0.2158	0.1411	4436.6460
σ^2_f	10.1122	10.0163	0.4816	0.6511	19459.8051
h^2_g	0.6178	0.5379	0.1593	0.4493	0.3179
ρ	0.7565	0.7085	0.4764	0.7460	0.4442
c^2_{perm}	0.1387	0.1706	0.3171	0.2967	0.1264
c^2_{gm}	0.0748	0.1228	0.0756	0.0373	0.3278
r_g	0.8920	0.8141	0.6783	0.9234	0.4923
h^2_{mg}	0.9438	0.9119	0.7205	0.9101	0.7602
μ	16.4955	13.4042	4.7935	2.7118	253.2134
CVg	0.1515	0.1732	0.0578	0.1995	0.3106
Cve	0.0792	0.0970	0.0969	0.1385	0.2631

σ^2_g : variância genética; σ^2_{perm} : variância ambiental permanente; σ^2_{gm} : variância genótipos x medições; σ^2_e : variância ambiental; σ^2_f : variância fenotípica; h^2_g : herdabilidade genotípica; ρ : coeficiente de repetibilidade; c^2_{perm} : coeficiente de determinação ambiental permanente; c^2_{gm} : coeficiente de determinação entre genótipos x medições; r_g : correlação genotípica entre medidas; h^2_{mg} : herdabilidade entre medidas x genótipos; μ média fenotípica; CVg; coeficiente de variação genotípico; Cve: coeficiente de variação ambiental.

Na figura 1 estão apresentados os valores referentes a acurácia seletiva, coeficiente de determinação, eficiência seletiva e herdabilidade, em relação às medidas realizadas para as características.

Figura 13 - Acurácia seletiva, coeficiente de determinação, eficiência seletiva e herdabilidade para 14 de genótipos de tomateiro.

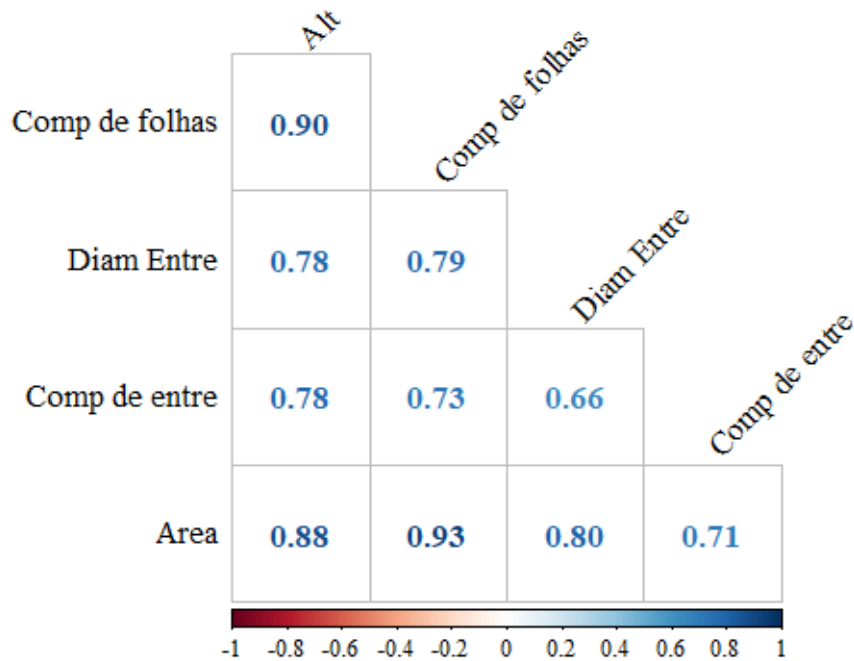


Fonte: Chagas (2022)

Nota-se que há um aumento de todos os parâmetros ao longo das medidas realizadas, no entanto, vale ressaltar que esse aumento é menos pronunciado da terceira para a quarta medida. Esses resultados evidenciam que as várias medidas são efetivas para se obter maiores ganhos para a seleção. O ganho mais e menos expressivo foi para o diâmetro de entrenós e altura das plantas, respectivamente.

Na figura 2 estão apresentados os valores de correlação, em que é possível verificar resultados acima de 70%, indicando que, quando o valor de uma variável aumenta, conseqüentemente haverá aumento proporcional das demais, de forma geral.

Figura 14 - Valores de correlação entre as características comprimento de folhas (Comp de folhas), diâmetro de entrenó (Diam Entre), comprimento dos entrenós (Comp de entre) e área de copa, de 14 genótipos de tomateiro.



Fonte: Chagas (2022)

4 DISCUSSÃO

De acordo com os testes de LRT, todas as características foram significativas para os efeitos de genótipo, estes resultados indicam que há variabilidade genética dentro dos indivíduos da população. Como os genótipos foram assumidos como aleatórios, os resultados podem ser extrapolados para toda a população, e possibilita a realização da seleção (NIELSEN *et al.*, 2014). Também de acordo com os resultados de deviance, a interação entre genótipos x medidas foi significativa, o que indica que as variáveis se alteraram ao longo de cada medida.

Os resultados diferenciados entre as medidas, são esperados pois as características mensuradas são quantitativas e o crescimento dos genótipos varia ao longo das fases da cultura do tomateiro (SARI *et al.*, 2019; SEUS, 2015).

Os coeficientes de repetibilidade individual (ρ) encontradas para as variáveis altura, comprimento de folhas e comprimento de entrenó possuem magnitudes acima de 0,7 que, de acordo com Resende, 2002, são consideradas altas. Com esses valores de repetibilidade é possível prever o valor genotípico das variáveis com um número reduzido de avaliações. O diâmetro dos entrenós e a área da copa apresentaram valores considerados moderados, que indica que essas variáveis necessitam de mais medições ao longo do tempo.

Os coeficientes de repetibilidade auxiliam na determinação da quantidade de observações necessárias a serem realizadas, em cada indivíduo, para que se tenha uma boa eficiência de seleção e com redução de custos (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014). Os estudos de repetibilidade são muito utilizados em culturas perenes, para prever qual o melhor número de colheitas que devem ser realizadas para selecionar os melhores indivíduos (DA SILVA SALES *et al.*, 2019; FERREIRA *et al.*, 2020; NEGREIROS *et al.*, 2014; SÁNCHEZ *et al.*, 2017)

No caso de plantas anuais, de forma geral, por não ser necessária a realização de várias medições ao longo do tempo, a repetibilidade pode auxiliar no momento ideal para que esta seja feita, de forma que se obtenha o valor mais representativo para aquela característica.

A seleção nos estágios iniciais pode ser de grande valia dentro de um programa de melhoramento. Por meio desta, fenótipos não considerados adequados podem ser descartados precocemente, auxiliando no objetivo final da seleção e reduzindo os custos de condução do programa.

Dentro dos programas de melhoramento um dos parâmetros que os melhoristas se baseiam no momento de realizar a seleção é a herdabilidade. Os valores de herdabilidade indicam quanto da expressão do caráter é devido a genética das plantas e será repassada aos descendentes, em outras palavras a herdabilidade é o efeito aditivo da característica.

Os valores de herdabilidade são influenciados pela qualidade experimental e, para se que se tenha valores fidedignos de herdabilidade, o ambiente não deve possuir influência sobre as características. Todas as características apresentaram coeficiente de variação experimental baixo, com exceção da área da copa, que apresentou valores considerado altos (Resende e Duarte, 2007), demonstrando a baixa influência do ambiente sobre as demais características.

De acordo com os resultados, a altura das plantas é uma das características com maior herdabilidade, sendo o valor encontrado para essa característica diferente de outros estudos

(EL-GABRY; SOLIEMAN; ABIDO, 2014; ISLAM; HASSAN; ANWAR HOSSAIN, 2022). Estas diferenças podem ser atribuídas as condições experimentais, pois o componente ambiental possui grande influência sobre esses valores, assim como o material genético o qual se está trabalhando.

As demais características, apresentam bons resultados de herdabilidade com exceção do diâmetro de entrenós, que apresentou o menor valor. Quanto maior o valor da herdabilidade maior será o sucesso da seleção, pois esta é parte direta da equação de ganho de seleção. (RAMALHO *et al.*, 2021)

Os valores de herdabilidade aumentam ao longo das medidas, o mesmo pode ser notado para os demais componentes estimados como a eficiência de medidas e a acurácia seletiva.

Por meio desses resultados podem ser definidos o melhor momento para a fenotipagem, para que se obtenha o melhor ganho para todas as características. Entre a primeira e a segunda medida, houve um incremento considerável para todos os parâmetros, o que não é notado para as demais medidas.

Esses resultados podem determinar o momento ideal para realizar a seleção, baseando-se na acurácia seletiva. Dessa forma, podemos realizar uma seleção precoce no tomateiro, considerando o descarte de fenótipos desajustados e, conseqüentemente, reduzindo custos do programa de melhoramento, conforme o objetivo da seleção.

Como o fenótipo anão é determinado por mais de uma característica, é necessário a realização de seleção multicaracterística. Nesse estudo, os valores de correlação entre as variáveis foram altos, o que indica que a seleção em uma característica resultará em ganhos nas demais. Por permitir que se ocorram ganhos para todas as características, pode haver a avaliação de apenas uma dessas, reduzindo os custos de mão de obra dentro do programa.

5 CONCLUSÕES

O uso do coeficiente de repetibilidade e medidas repetidas podem ser aplicados para a cultura do tomateiro, para características relacionadas ao crescimento.

O coeficiente de determinação, acurácia seletiva e herdabilidade aumentam quando se aumentam as medidas.

A terceira medida (21 DAT) é o melhor período para se medir e ter boa eficiência para características de crescimento de tomateiro determinado.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE JÚNIOR, Valter C *et al.* Repeatability and heritability of production characters in strawberry fruits. **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 89–93, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362020000100089&tlng=en.
- BALZARINI, M. Applications of mixed models in plant breeding. *In: QUANTITATIVE GENETICS, GENOMICS AND PLANT BREEDING*. Wallingford: CABI, 2002. p. 353–363. *E-book*. Disponível em: <http://www.cabi.org/cabebooks/ebook/20083015199>.
- BRITO DA SILVA, Verônica *et al.* Assessment of energy production in full-sibling families of elephant grass by mixed models. **Renewable Energy**, v. 146, p. 744–749, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148119309929>.
- CARMEL-GOREN, Lea *et al.* The self-pruning gene family in tomato. **Plant Molecular Biology**, v. 52, n. 6, p. 1215–1222, 2003.
- CRUZ, Cosme Damião; CARNEIRO, Pedro Crescêncio Souza; REGAZZI, A. J. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2014.
- DA SILVA SALES, Witalo *et al.* Estimates of repeatability for selection of genotypes of seedless table grapes for Brazilian semiarid regions. **Scientia Horticulturae**, v. 245, p. 131–136, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423818307131>.
- EL-GABRY, M.A.H.; SOLIEMAN, T.I.H.; ABIDO, A.I.A. Combining ability and heritability of some tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. **Scientia Horticulturae**, v. 167, p. 153–157, 2014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423814000144>.
- FERREIRA, Filipe Manoel *et al.* Estimates of repeatability coefficients and optimum number of measures for genetic selection of *Cynodon* spp. **Euphytica**, v. 216, n. 5, p. 70, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s10681-020-02605-x>.
- HENDERSON, C. R.; QUAAS, R. L. Multiple Trait Evaluation Using Relatives' Records. **Journal of Animal Science**, v. 43, n. 6, p. 1188–1197, 1976. Disponível em: <https://academic.oup.com/jas/article/43/6/1188-1197/4700387>.
- ISLAM, Shafiul; HASSAN, Lutful; ANWAR HOSSAIN, Mohammad. Breeding Potential of Some Exotic Tomato Lines: A Combined Study of Morphological Variability, Genetic

Divergence, and Association of Traits. **Phyton**, v. 91, n. 1, p. 97–114, 2022. Disponível em: <https://www.techscience.com/phyton/v91n1/44081>.

KOZAK, M.; PIEPHO, H.-P. What's normal anyway? Residual plots are more telling than significance tests when checking ANOVA assumptions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 204, n. 1, p. 86–98, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jac.12220>.

NEGREIROS, Jacson Rondinelli da Silva *et al.* Estimativa de repetibilidade para caracteres de qualidade de frutos de laranjeira-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 1, p. 40–48, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2014000100007&lng=pt&tlng=pt.

NIELSEN, H Bjørn *et al.* Identification and assembly of genomes and genetic elements in complex metagenomic samples without using reference genomes. **Nature Biotechnology**, v. 32, n. 8, p. 822–828, 2014. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/nbt.2939>.

PAINE, C. E. Timothy *et al.* How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 3, n. 2, p. 245–256, 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.2041-210X.2011.00155.x>.

PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, v. 58, n. 3, p. 545–554, 1971. Disponível em: <https://academic.oup.com/biomet/article-lookup/doi/10.1093/biomet/58.3.545>.

RAMALHO, M.A.P. *et al.* **Genética na agropecuária**. 6. ed. Lavras: UFLA, 2021.

RESENDE, Marcos Deon Vilela De. **Genética Biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: EMBRAPA Informação tecnológica, 2002.

RESENDE, Marcos Doen Vilela De. **Genética Quantitativa e de Populações**. Viçosa: Editora UFV, 2015.

RESENDE, Marcos Deon Vilela de. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 330–339, 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-70332016000400330&lng=en&tlng=en.

ROCHA, João Romero do Amaral Santos de Car; MACHADO, Juarez Campolina; CARNEIRO, Pedro Crescêncio Souza. Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. **GCB Bioenergy**,

v. 10, n. 1, p. 52–60, 2018. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12443>.

SÁNCHEZ, C F B *et al.* Research Article Estimates of repeatability coefficients and the number of the optimum measure to select superior genotypes in *Annona muricata* L. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, 2017.

SARI, Bruno Giacomini *et al.* Describing tomato plant production using growth models. **Scientia Horticulturae**, Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423818307477?dgcid=rss_sd_all.

SARI, Bruno Giacomini *et al.* Describing tomato plant production using growth models.

Scientia Horticulturae, v. 246, n. July 2017, p. 146–154, 2019. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.044>.

SEUS, Rogerio. **Introgessão de nanismo em germoplasma de tomate industrial**. 2015.

122 f. - Univesidade Federal de Viçosa, 2015. Disponível em:

<https://locus.ufv.br//handle/123456789/6901>.

STIDA, Wanessa F. *et al.* Estimation of genetic parameters and selection of elephant-grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) for forage production using mixed models. **Chilean**

journal of agricultural research, v. 78, n. 2, p. 198–204, 2018. Disponível em:

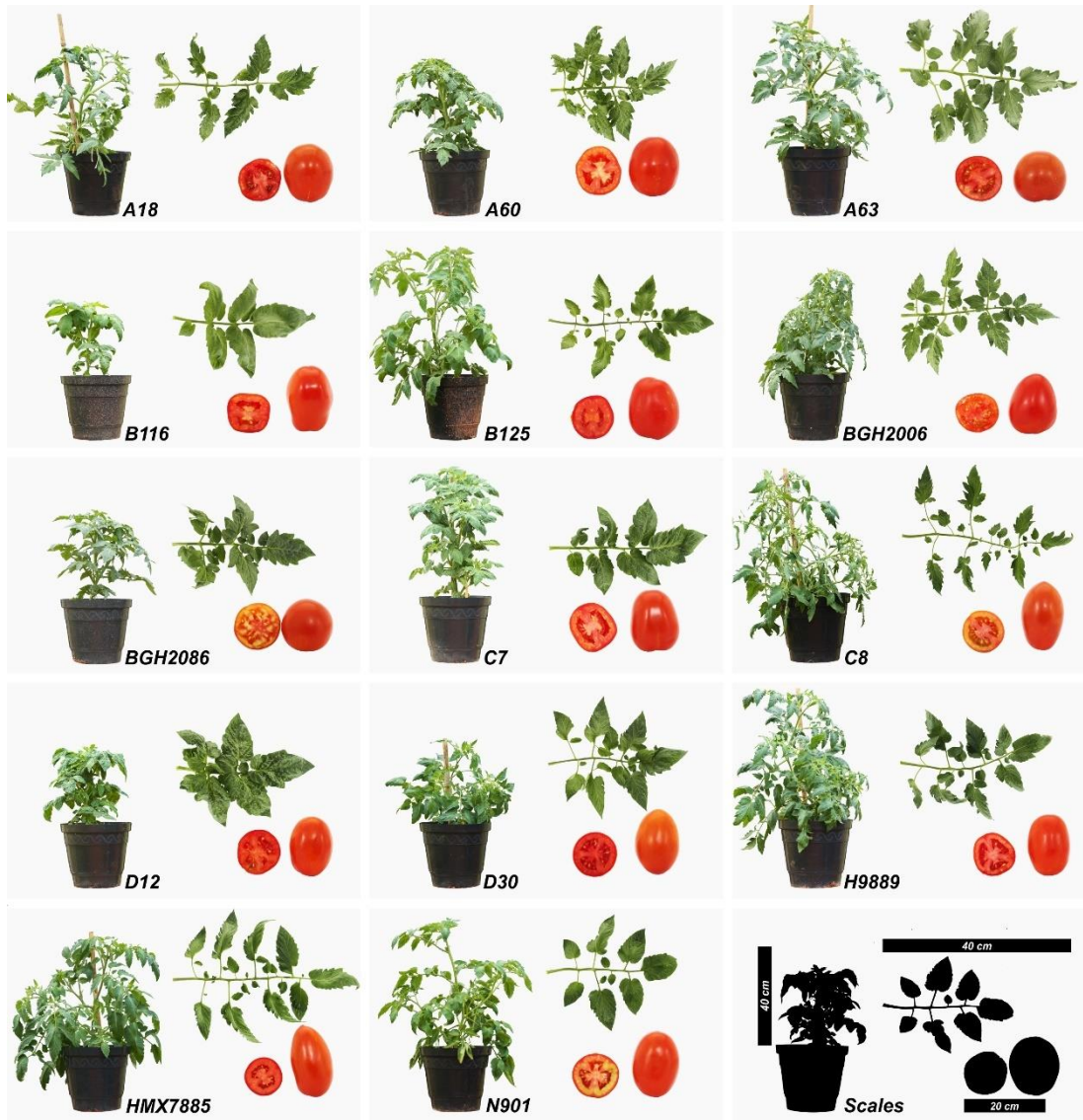
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-58392018000200198&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

YEAGER, A. F. DETERMINATE GROWTH IN THE TOMATO. **Journal of Heredity**, v.

18, n. 6, p. 263–265, 1927. Disponível em:

<https://academic.oup.com/jhered/article/814099/DETERMINATE>.

APÊNDICE 1



S1 - Imagens representativas da parte aérea, folhas e frutos de 14 genótipos de tomateiro.

Fonte: Chagas (2022).