

Herança de caracteres relacionados ao formato e cor de frutos em jiló

Inheritance of traits related to fruit shape and color in african eggplant

Herencia de caracteres relacionados con la forma y el color de los frutos de jiló

Recebido: 26/01/2022 | Revisado: 03/02/2022 | Aceito: 25/02/2022 | Publicado: 06/03/2022

André Lasmar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1733-5133>
Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: andre_lasmar@yahoo.com.br

Luis Felipe Lima e Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6082-9182>
Universidade José do Rosário Vellano, Brasil
E-mail: luis.silva@unifenas.br

Regis de Castro Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5125-9878>
Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: regiscarvalho@hotmail.com

Ranoel José de Sousa Gonçalves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3304-0730>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: ranoelgoncalves@hotmail.com

Thiago Matos Andrade

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3314-4794>
Universidade Federal de Sergipe, Brasil
E-mail: tmaagro@yahoo.com.br

Wilson Roberto Maluf

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3815-0405>
Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: wrmaluf@dag.ufla.br

Resumo

O jiló é uma solanácea com frutos de cores (verde-escuros, verde-claros, brancos) e formatos (de redondo a alongado) variados. Por tratar-se de uma espécie pouco difundida mundialmente, têm sido pouco estudados os modos de herança de suas características de importância econômica. O objetivo deste trabalho foi determinar a herança de cor e formato de frutos de jiló. Foram utilizadas sementes das variedades Morro Redondo (MR), Comprido Verde-Claro (CVC) e dos cruzamentos e retrocruzamentos: F1(MRxCVC), F2(MRxCVC), RC11[MRx(MRxCVC)], RC12[CVCx(MRxCVC)]. A existência de um gene maior no controle dos caracteres comprimento (C), diâmetro (D) e relação C/D foi testada pela função de máxima verossimilhança. Já para cor de frutos imaturos, foi testada a hipótese de herança monogênica, pelo teste de chi-quadrado. O diâmetro do fruto é controlado por um gene maior com efeito aditivo apenas, mais poligenes com efeitos aditivos apenas. O comprimento do fruto e a relação C/D são controlados poligenicamente, por genes cujos efeitos são predominantemente aditivos. A cor dos frutos imaturos é controlada por um gene maior com dois alelos, sendo o alelo que confere a coloração verde-escura dominante sobre o alelo que confere a coloração verde-clara, porém, há indícios de genes modificadores envolvidos.

Palavras-chave: *Solanum gilo* Raddi; Herdabilidade; Melhoramento genético; Morfologia.

Abstract

The African eggplant is a solanaceous vegetable with bitter tasting immature fruit of various colors (light green, dark green, white) and shapes (from elongated to round). Because it is a little known vegetable, there are few studies on the inheritance of its economically important traits. The objective of this work had was to study the inheritance of shape and immature fruit color in *S. gilo*, in order to assist future breeding programmes with this crop. Cultivars Morro Redondo (MR, with dark green round fruit) and Comprido Verde Claro (CVC, with elongated light green fruit) were tested along with their F1(MR x CVC), F2(MRxCVC), BC11[MRx(MRxCVC)], and BC12[CVCx(MRxCVC)] generations. A test based on maximum likelihood was used to test the hypothesis of monogenic control fruit length (L), diameter (D) and L/D ratio. Fruit diameter was under control of a major gene locus with additive effects, plus polygenes also with additive effects. Fruit length and L/D ratio were under control of polygenes with predominantly additive effects. Fruit color was determined by a major gene locus with two alleles, with dominance of the allele that controls dark green over light green color, but there was also evidence for the presence of modifier genes.

Keywords: *Solanum gilo* Raddi; Heritability; Genetical breeding; Morphology.

Resumen

El jiló es una solanácea con frutos de diferentes colores (verde oscuro, verde claro, blanco) y formas (desde redondas hasta alargadas). Por ser una especie poco extendida a nivel mundial, los modos de herencia de sus características de importancia económica han sido poco estudiados. El objetivo de este trabajo fue determinar la herencia de color y forma de frutos de berenjena. Se utilizaron semillas de Morro Redondo (MR), Comprido Verde-Claro (CVC) y cruces y retrocruces: F1(MRxCVC), F2(MRxCVC), RC11[MRx(MRxCVC)], RC12[CVCx(MRxCVC)]. La función de máxima verosimilitud probó la existencia de un gen más grande que controla la longitud de los caracteres (C), el diámetro (D) y la relación C/D. En cuanto al color de los frutos inmaduros, se probó la hipótesis de herencia monogénica mediante la prueba de chi-cuadrado. El diámetro de la fruta está controlado por un gen más grande solo con efecto aditivo, más poligenes solo con efecto aditivo. La longitud del fruto y la relación C/D están controladas poligénicamente por genes cuyos efectos son predominantemente aditivos. El color de los frutos inmaduros está controlado por un gen más grande con dos alelos, el alelo que confiere la coloración verde oscuro es dominante sobre el alelo que confiere la coloración verde claro, sin embargo, hay indicios de genes modificadores involucrados.

Palabras clave: *Solanum gilo* Raddi; Heredabilidad; Mejoramiento genético; Morfología.

1. Introdução

O jiló (*Solanum gilo* Raddi) é uma solanácea semelhante à berinjela, porém, com frutos bem menores, de sabor amargo no ponto de colheita dos frutos imaturos, e de cores (verde-escuro, verde-claro, branco) e formatos (de redondo a alongado) variados (Pinheiro et al., 2015). Seu centro de origem é a África, mas no Brasil é bastante popular, principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Goiás. A cultura apresenta destaque econômico, nutricional, medicinal e social (Da silva et al; 2020; Martins et al; 2018).

Dados das Centrais de Abastecimento de Minas Gerais (CEASA, 2021) de Belo Horizonte indicam que são comercializadas, anualmente, cerca de 12.000 toneladas de jiló, com oferta relativamente estável ao longo do ano. As demais CEASAS do estado de Minas Gerais contabilizam mais cerca de 4.500 toneladas, isso sem contar o volume comercializado em feiras-livres, varejões e supermercados, locais que não possuem ou não disponibilizam tal registro para consulta.

No restante do mundo, o jiló ainda é pouco conhecido. Nos últimos anos, nos Estados Unidos, seu consumo tem crescido devido ao grande número de imigrantes brasileiros, principalmente os oriundos do estado de Minas Gerais. Devido à grande demanda pelos brasileiros, o jiló alcança ali preços bastante elevados, o que gera interesse por parte dos produtores locais pela sua produção e comercialização. Algumas universidades americanas incluíram o jiló em programas de extensão voltados à divulgação de hortaliças consumidas por grupos étnicos (Mendonça, 2007).

Embora não seja possível afirmar com precisão, o consumo de jiló no Brasil, repetindo a situação de Minas Gerais, provavelmente supera amplamente o da berinjela. As cultivares disponíveis são poucas e compreendem, basicamente, dois tipos: um com frutos compridos verdes-claros (preferidos nos mercados mineiro, fluminense e goiano) e outro com tipos redondos verde-escuros (preferidos no mercado paulista) (Filgueira, 2012).

Por se tratar de uma espécie pouco difundida mundialmente, poucos estudos genéticos têm sido realizados com o jiló para subsidiar o melhoramento da espécie. Tampouco tem sido estudado o modo de herança para características de importância econômica, como formato e cor do fruto imaturo. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de determinar a herança genética da coloração e do formato de frutos de *Solanum gilo* Raddi.

2. Metodologia

O experimento foi conduzido nas instalações da Estação Experimental de Hortaliças da HortiAgro Sementes Ltda., Fazenda Palmital, município de Ijaci, MG a 14 km de Lavras, MG (altitude 920 m, 21°14'43"S e 45°00'00"W), de janeiro a dezembro de 2010 (Lasmar, 2010). O clima da região é classificado como temperado úmido, com verão quente e inverno seco, sendo, portanto, do tipo Cwa na classificação de Köppen.

Foram utilizadas sementes de duas cultivares de jiló disponíveis no mercado, 'Morro Redondo' (MR) e 'Comprido

Verde-Claro' (CVC). 'Morro Redondo' (MR) tem frutos arredondados, de coloração verde-escura, e é tipicamente uma cultivar para o mercado paulista. 'Comprido Verde-Claro' (CVC) tem frutos alongados, de coloração verde-clara e é, tipicamente, uma cultivar para o mercado mineiro, fluminense, capixaba e goiano. Foram também obtidas sementes das populações/gerações: F1(MRxCVC), F2(MRxCVC), RC11[MRx(MRxCVC)], RC12[CVCx(MRxCVC)]. Os materiais foram semeados em bandejas de polipropileno expandido de 128 células com substrato comercial e cobertas com vermiculita. As mudas foram transplantadas para canteiros a céu aberto cerca de 2 meses após semeadura. As plantas foram conduzidas de acordo com os tratamentos culturais (adubação, controle de pragas e doenças) pertinentes à cultura (Filgueira, 2012).

As parcelas foram compostas por 5 plantas, espaçadas 1,20 m entre fileiras e 0,8 m entre plantas. O número de parcelas por tratamento variou de acordo com a variabilidade genética esperada dentro de cada população: os pais e a geração F1 foram representados por 6 parcelas cada, totalizando 30 plantas de cada genótipo. A geração F2 foi representada por 54 parcelas, totalizando 270 plantas, enquanto retrocruzamentos RC11 e RC12 foram representados por 24 parcelas cada, totalizando 120 plantas de cada genótipo. O experimento foi, portanto, constituído por um total de 600 plantas, distribuídas em 120 parcelas em delineamento inteiramente casualizado.

Avaliaram-se cinco frutos de cada planta individualmente, aleatoriamente colhidos, quando estes atingiram o ponto comercial. Em cada fruto foram avaliadas as seguintes características: comprimento, diâmetro, relação comprimento/diâmetro (C/D) e cor do fruto imaturo. A média de cada planta foi constituída pela média dos cinco frutos nela amostrados. Para a coleta dos dados de comprimento e diâmetro, foi utilizado um paquímetro digital. As avaliações de cor dos frutos imaturos foram feitas segundo uma escala de avaliação visual, que distinguiu dois fenótipos: cor verde-clara e cor verde-escura.

Para cor de frutos imaturos, em que a variação fenotípica é descontínua e apenas dois fenótipos são distinguíveis (cor verde-clara/cor verde-escura), foi testada a hipótese de herança monogênica do caráter, por meio do teste de chi-quadrado.

Para comprimento (C), diâmetro (D) e relação C/D, caracteres de variação contínua, foram inicialmente obtidas as estimativas das variâncias das populações P₁ (MR), P₂ (CVC), F₁, F₂, RC₁₁ e RC₁₂, as quais posteriormente foram utilizadas para a obtenção das variâncias genética (σ_G^2), ambiental (σ_E^2), fenotípica (σ_F^2), aditiva (σ_A^2) e de dominância (σ_D^2), das herdabilidades no sentido amplo (h_a^2) e restrito (h_r^2), segundo as expressões indicadas por Mather e Jinks (1984) e Ramalho, Santos e Zimmermann (1993). Os componentes das médias referentes aos efeitos aditivos [\hat{a}] e não aditivos [\hat{d}] do(s) gene(s) que controla(m) o caráter foram estimados a partir das médias das gerações, pelo método dos quadrados mínimos ponderados (Mather; Jinks, 1984), obtendo-se a partir deles a estimativa dos graus médios de dominância ($GMD = [\hat{d}] / [\hat{a}]$).

Um teste, baseado na função de máxima verossimilhança, foi utilizado para detectar a existência de um gene maior (Silva, 2003) no controle dos caracteres C, D e C/D. A função da máxima verossimilhança foi constituída considerando uma característica que pode apresentar um gene de efeito maior, havendo variação entre indivíduos de um mesmo genótipo devido à ação de efeitos ambientais e/ou de genes de efeitos menores. As funções de densidade para RC₁₁ e RC₁₂ são constituídas pela mistura de duas densidades normais e F₂ por uma mistura de três distribuições normais e, em cada componente da mistura, os componentes de média e de variância dos poligenes não mudam, mudando apenas os efeitos do gene de efeito maior.

Na construção do modelo genético, considerou-se como o modelo mais geral aquele que apresenta a existência de gene de efeito maior mais poligenes com efeitos aditivos e de dominância e variâncias ambientais iguais em todas as gerações. Admitiram-se, ainda, genes independentes (tanto poligenes como de efeito maior).

A partir das funções de verossimilhança para cada modelo foi possível compor testes de interesse, considerando diferentes hipóteses. Tais testes de razão de verossimilhança foram feitos por meio da estatística LR (Modd et al., 1974). Os testes foram realizados utilizando um software estatístico denominado "Monogen v.0.1", desenvolvido por Silva (2003).

3. Resultados e Discussão

Para comprimento (C), diâmetro (D) e relação C/D, as estimativas de $[\hat{m}]$, $[\hat{a}]$ e $[\hat{d}]$ obtidas (Mather & Jinks, 1984; Ramalho et al., 1993) resultaram em coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99, indicando que, nos três casos, o modelo aditivo-dominante explica grande parte da variação entre as gerações, mostrando-se, pois, um modelo adequado para explicar o controle do caráter, sem necessidade da inclusão de interações epistáticas (Tabela 1).

Também para as três características estudadas, as médias das gerações F_1 e F_2 obtiveram valores intermediários entre as médias dos parentais (Morro Redondo e Comprido Verde-Claro) e bastante semelhantes entre si, indicando a ausência de desvios devido à ação gênica dominante. As estimativas dos efeitos aditivos $[\hat{a}]$ foram bastante superiores às dos efeitos não-aditivos $[\hat{d}]$, resultando em graus médios de dominância próximos de 0 (Tabela 1).

Tabela 1. Notas médias das populações P_1 (MR), P_2 (CVC), F_1 (MRxCVC), F_2 (MRxCVC), RC_{11} (F_1 xMR), RC_{12} (F_1 xCVC) e componentes da média para comprimento, diâmetro e relação comprimento/diâmetro em frutos de jiló.

Populações	Médias		
	Comprimento	Diâmetro	Relação C/D
P_1 (= MR)	53,5654	50,5424	1,0824
P_2 (= CVC)	75,8337	45,6291	1,6692
F_1 (= MRxCVC)	65,2175	49,3491	1,3227
F_2 (= MRxCVC)	64,1025	47,8646	1,3467
RC_{11} (= F_1 xMR)	56,6975	49,9223	1,1405
RC_{12} (= F_1 xCVC)	70,3089	47,1418	1,4999
m	$64,47 \pm 0,6828$	$48,48 \pm 0,3833$	$1,35 \pm 0,0199$
[a]	$11,37 \pm 0,8331$	$2,38 \pm 0,4677$	$0,30 \pm 0,0244$
[d]	$0,04 \pm 0,4553$	$0,09 \pm 0,2555$	$0,00 \pm 0,0133$
R^2	0,999782	0,999889	0,999563
GMD	0,0035	0,0378	0,0000

m: média estimada dos parentais P_1 e P_2 ; [a]: efeito gênico aditivo; [d]: efeito gênico não-aditivo; R^2 : coeficiente de determinação; GMD: grau médio de dominância. Fonte: Autores (2022).

A Tabela 2 apresenta os resultados das variâncias das populações, a herdabilidade no sentido amplo e restrito e as variâncias para comprimento, diâmetro e relação comprimento/diâmetro em frutos de jiló. A maior importância dos efeitos aditivos relativamente aos não-aditivos também ficou evidente nas comparações entre as estimativas dos componentes de variância aditivo (σ_A^2) e não-aditivo (σ_D^2), que foram sempre maiores para o primeiro componente (Tabela 2).

As estimativas das herdabilidades no sentido amplo (h^2_a) foram de 48,2% e de 33,9%, respectivamente, para comprimento (C) e diâmetro (D) de frutos, mas foram bem maiores (84,7%) para relação C/D (Tabela 2), indicando que o formato de fruto representado por C/D é pouco influenciado por variações ambientais. As estimativas das herdabilidades no sentido restrito (h^2_r) foram muito próximas das obtidas para as herdabilidades no sentido amplo (h^2_a) (Tabela 2), confirmando que os efeitos genéticos são predominantemente aditivos para as três características em questão.

Tabela 2. Variância das populações $P_1(MR)$, $P_2(CVC)$, $F_1(MR \times CVC)$, $F_2(MR \times CVC)$, $RC_{11}(F_1 \times MR)$, $RC_{12}(F_1 \times CVC)$, herdabilidade no sentido amplo e restrito (h^2_a , h^2_r), variâncias ambiental (σ_E^2), genética (σ_G^2), aditiva (σ_A^2) e de dominância (σ_D^2) para comprimento, diâmetro e relação comprimento/diâmetro em frutos de jiló.

Populações	Variância		
	Comprimento	Diâmetro	Relação C/D
$P_1(MR)$	19,0294	17,9678	0,0176
$P_2(CVC)$	30,3056	9,8798	0,0261
F_1	22,0311	10,4332	0,0045
F_2	45,8331	26,1994	0,0409
RC_{11}	29,6787	16,9076	0,0147
RC_{12}	42,5436	12,4800	0,0323
σ_E^2	23,57	11,68	0,0117
σ_G^2	21,90	5,98	0,0290
σ_A^2	18,73	5,92	0,0346
σ_D^2	3,18	0,06	0,0055
h^2_a (%)	48,2	33,9	84,70
h^2_r (%)	41,2	33,5	71,20

Fonte: Autores (2022).

Para comprimento de frutos (C), o teste dos modelos genéticos utilizando a função de verossimilhança, que compara o Modelo 1 ao Modelo 5, de Silva (2003) (Quadro 1), não rejeita H_0 (Tabela 3), portanto, não há evidência de que existe um gene de efeito maior. Testando o Modelo 1 vs. Modelo 7 (Quadro 1), rejeita-se H_0 ($P < 0,05$) (Tabela 3). Logo, há evidência de poligenes com efeitos aditivo e de dominância.

Quadro 1. Modelos de herança utilizados pelo programa Monogen.

Modelo	Parâmetros
1 = gene maior com efeitos aditivo e de dominância + poligenes com efeitos aditivo e de dominância	$\mu, A, D, [a], [d], V_A, V_D, S_{AD}, \sigma^2$
2 = gene maior com efeitos aditivo e de dominância + poligenes com efeito aditivo apenas	$\mu, A, D, [a], V_A, \sigma^2$
3 = gene maior com efeitos aditivo apenas + poligenes com efeitos aditivo e de dominância	$\mu, A, [a], [d], V_A, V_D, S_{AD}, \sigma^2$
4 = gene maior com efeito aditivo apenas + poligenes com efeito aditivo apenas	$\mu, A, [a], V_A, \sigma^2$
5 = poligenes com efeitos aditivo e de dominância	$\mu, [a], [d], V_A, V_D, S_{AD}, \sigma^2$
6 = poligenes com efeito aditivo apenas	$\mu, [a], V_A, \sigma^2$
7 = gene maior com efeitos aditivo e de dominância	μ, A, D, σ^2
8 = gene maior com efeito aditivo apenas	μ, A, σ^2
9 = apenas efeito do ambiente	μ, σ^2

Fonte: Autores (2022).

Tabela 3. Testes de hipóteses de modelos genéticos hierárquicos para comprimento em frutos de jiló.

Modelos	Graus de liberdade	Chi-quadrado calculado (X^2_c)	Probabilidade (P)
1 vs. 2	3	2,2019	0,5315598
1 vs. 3	1	0,6346	0,4256711
1 vs. 4	4	3,5590	0,4689601
1 vs. 5	2	0,6345	0,7281211
1 vs. 6	5	3,5589	0,6144806
1 vs. 7	5	61,7480	0,0000004
1 vs. 8	6	63,2325	0,0000003
1 vs. 9	7	358,2188	0,0000010
2 vs. 4	1	1,3570	0,2440486
2 vs. 6	2	1,3570	0,5073724
2 vs. 7	2	59,5461	0,0000003
2 vs. 8	3	61,0306	0,0000002
2 vs. 9	4	356,0169	0,0000011
3 vs. 5	1	(a)	(a)
3 vs. 6	4	2,9243	0,4705575
3 vs. 8	5	62,5979	0,0000003
3 vs. 9	6	357,5842	0,0000011
4 vs. 6	1	(a)	(a)
4 vs. 8	2	59,6735	0,0000003
4 vs. 9	3	354,6598	0,0000010
5 vs. 6	3	2,9244	0,1034259
5 vs. 9	5	357,5843	0,0000009
6 vs. 9	2	354,6598	0,0000012
7 vs. 8	1	1,4844	0,2230721
7 vs. 9	2	296,4707	0,0000009
8 vs. 9	1	2,2019	0,1378341

(a) Valor negativo, talvez devido a problemas de convergência. Fonte: Autores (2022).

Testando o Modelo 2 vs. Modelo 7 (Quadro 1), rejeita-se H_0 ($P < 0,05$) (Tabela 3), portanto, há evidência de poligenes com efeitos aditivos. Por fim, comparando-se o Modelo 1 ao Modelo 2 (Quadro 1), não se rejeita H_0 ($P < 0,05$) (Tabela 3). Portanto, não há evidência de que os poligenes tenham efeito de dominância. Evidencia-se, então, que o comprimento de fruto é controlado poligenicamente por genes cujos efeitos são predominantemente aditivos.

Testando os modelos genéticos utilizando a função de verossimilhança para diâmetro de frutos (D), a comparação do Modelo 5 vs. Modelo 9 (Quadro 1) resultou na rejeição ($P < 0,05$) da hipótese H_0 (Tabela 4). Portanto, há evidência de poligenes com efeitos aditivo e de dominância. Na comparação do modelo 3 vs. modelo 5 (Quadro 1), rejeita-se H_0 (Tabela 4). Portanto, há evidência de gene maior com efeito aditivo apenas. Comparando-se o modelo 2 ao modelo 4 (Quadro 1), a hipótese H_0 não é rejeitada (Tabela 4), evidenciando a não existência de efeitos de dominância do gene maior. No teste do modelo 3 vs. modelo 9 (Quadro 1), a hipótese H_0 é rejeitada (Tabela 4). Portanto, há evidência de gene maior com efeito aditivo apenas mais poligenes com efeitos aditivo e de dominância. Por fim, testando o modelo 1 vs. modelo 2 (Quadro 1), a hipótese não é rejeitada (Tabela 4), não havendo, portanto, evidência de que os poligenes tenham efeito de dominância. Da interpretação do conjunto destes testes é possível inferir que o diâmetro em frutos de jiló é controlado por um gene maior com efeito aditivo apenas, mais poligenes com efeitos aditivos apenas.

Tabela 4. Testes de hipóteses de modelos genéticos hierárquicos para diâmetro em frutos de jiló.

Modelos	Graus de liberdade	Chi-quadrado calculado (χ^2)	Probabilidade (P)
1 vs. 2	3	0,3157	0,9570410
1 vs. 3	1	(a)	(a)
1 vs. 4	4	4,0272	0,4023293
1 vs. 5	2	3,2912	0,1928944
1 vs. 6	5	4,7736	0,4441303
1 vs. 7	5	5,1169	0,4017718
1 vs. 8	6	5,1285	0,5274241
1 vs. 9	7	59,4001	0,0000002
2 vs. 4	1	3,7115	0,0540382
2 vs. 6	2	4,4578	0,1076435
2 vs. 7	2	4,8012	0,0906620
2 vs. 8	3	4,8128	0,1860222
2 vs. 9	4	59,0835	0,0000003
3 vs. 5	1	4,2050	0,0403043
3 vs. 6	4	5,6873	0,2237416
3 vs. 8	5	6,0424	0,3021123
3 vs. 9	6	60,3138	0,0000003
4 vs. 6	1	0,7463	0,3876358
4 vs. 8	2	1,1013	0,5765529
4 vs. 9	3	55,3728	0,0000002
5 vs. 6	3	1,4823	0,6863436
5 vs. 9	5	56,1088	0,0000003
6 vs. 9	2	54,6264	0,0000002
7 vs. 8	1	0,0116	0,9140213
7 vs. 9	2	54,2831	0,0000004
8 vs. 9	1	0,3157	0,5741774

(a) Valor negativo, talvez devido a problemas de convergência. Fonte: Autores (2022).

Para a relação C/D dos frutos, na comparação do Modelo 1 vs. Modelo 5, de Silva (2003) (Quadro 1), não se rejeita H0 (Tabela 5), portanto, não há evidência de que exista um gene de efeito maior. Testando o Modelo 1 vs. Modelo 7 (Quadro 1), rejeita-se H0 (Tabela 5). Logo, há evidência de efeitos poligenes com efeitos aditivo e de dominância. Testando o Modelo 2 vs. Modelo 7 (Quadro 1), rejeita-se H0 (Tabela 5), portanto, há evidência de poligenes com efeitos aditivos apenas. Por fim, comparando-se o Modelo 1 vs. Modelo 2, não se rejeita H0, portanto, não há evidência de que os poligenes tenham efeito de dominância (Tabela 5). Conclui-se, portanto, que o caráter C/D é controlado poligenicamente por genes cujos efeitos são predominantemente aditivos.

Tabela 5. Testes de hipóteses de modelos genéticos hierárquicos para a relação comprimento/diâmetro (C/D).

Modelos	Graus de liberdade	Chi-quadrado calculado (χ^2)	Probabilidade (P)
1 vs. 2	3	3,5546	0,3137460
1 vs. 3	1	1,9344	0,1642800
1 vs. 4	4	24,1128	0,0000070
1 vs. 5	2	4,5308	0,1037910
1 vs. 6	5	24,1117	0,0002070
1 vs. 7	5	54,8230	0,0000004
1 vs. 8	6	68,7509	0,0000003
1 vs. 9	7	381,9023	0,0000010
2 vs. 4	1	20,5572	0,0000057
2 vs. 6	2	20,5571	0,0000345
2 vs. 7	2	51,2684	0,0000003
2 vs. 8	3	65,1963	0,0000003
2 vs. 9	4	378,3477	0,0000012
3 vs. 5	1	2,5964	0,1071084
3 vs. 6	4	22,1773	0,0001850
3 vs. 8	5	66,8165	0,0000003
3 vs. 9	6	379,9680	0,0000011
4 vs. 6	1	(a)	(a)
4 vs. 8	2	44,6391	0,0000003
4 vs. 9	3	357,7905	0,0000010
5 vs. 6	3	19,5810	0,0002074
5 vs. 9	5	377,3716	0,0000012
6 vs. 9	2	357,7906	0,0000011
7 vs. 8	1	13,9279	0,0001900
7 vs. 9	2	327,0793	0,0000011
8 vs. 9	1	3,5546	0,0593794

(a) Valor negativo, talvez devido a problemas de convergência. Fonte: Autores (2022).

Em relação ao controle genético da cor do fruto de jiló, todas as plantas F1 provenientes do cruzamento de ‘Morro Redondo’ com ‘Comprido Verde-Claro’ mostraram frutos verde escuros, à semelhança de ‘Morro Redondo’ (Tabela 6). A hipótese de herança monogênica desta característica, com dominância do possível alelo que controla a cor verde-escura, foi testada nas gerações segregantes F2, RC11, e RC12 (Tabela 6).

As frequências observadas de plantas com frutos verde-escuros (VE) e verde-claros (VC) concordaram com a proporção esperada de $\frac{3}{4}$ VE : $\frac{1}{4}$ VC pelo teste de chi-quadrado (= 1,29, $P < 0,05$) (Tabela 6). Dessa forma, se aceita a hipótese de que a coloração de frutos é controlada por um único locus gênico, no qual o alelo que confere coloração verde-escura é dominante sobre o que confere a coloração verde-clara dos frutos.

Tabela 6. Frequências observadas, esperadas e valores de chi-quadrado calculado (χ^2_c) das populações P₁(Morro Redondo - MR), P₂(Comprido Verde-Claro - CVC), F₁(MRxCVC), F₂(MRxCVC), RC₁₁(F₁xMR), RC₁₂(F₁xCVC) de jiló.

Gerações	Frequência observada			Frequência esperada		χ^2_c *	Prob
	Verde-claro	Verde-escuro	Subtotal	Verde-claro	Verde-escuro		
P ₁ (MR)	0	30	30	0	30		
P ₂ (CVC)	29	0	29	29	0		
F ₁ (MRxCVC)	0	30	30	0	30		
F ₂ (MRx CVC)	74	191	265	66,25	198,75	1,209	0,271
RC ₁₁ (F ₁ xMR)	2	116	118	0	118	-	
RC ₁₂ (F ₁ xCVC)	47	70	117	58,5	58,5	4,521	0,033

Fonte: Autores (2022).

Na geração RC11, a hipótese de herança monogênica pressuporia 100% de indivíduos com frutos de coloração verde-escura, o que não ocorreu, uma vez que 2 em 118 indivíduos tiveram frutos verde-claros (Tabela 6). Na geração RC12, a mesma hipótese indicaria proporção de indivíduos com frutos verde-escuros e verde-claros de ½ VE: ½ VC. Os valores obtidos (= 4,521, com P = 0,033; ligeiramente inferior a 0,05) indicam pequenos desvios no sentido de maiores proporções de indivíduos com coloração verde-escura. Os resultados podem ser interpretados de maneira a considerar que a herança da cor do fruto imaturo em jiló é controlada essencialmente por um loco gênico que é, contudo, influenciado pela ação epistática de genes modificadores.

Monteiro (2009), em experimento visando analisar a heterose em jiló, utilizou 14 materiais (entre cultivares e acessos disponíveis no mercado ou coletados junto a produtores) para a obtenção de híbridos F1. A coloração verde-escura dos frutos da cultivar Morro Redondo se revelou dominante relativamente à cor verde-clara ou branca dos demais genitores, resultado que corrobora com os elucidados aqui. Carvalho e Ribeiro (2002) registraram diferenças para comprimento de fruto um cruzamento dialélico de jiló. A cultivar ‘Morro Redondo’ contribuiu para reduzir o comprimento nos híbridos de que participou, enquanto ‘Comprido Verde-Claro’ e ‘Tinguá’ contribuíram para aumentar o comprimento dos frutos. Essas observações apresentadas assemelham-se às encontradas no trabalho de Monteiro (2009) bem como às observadas neste trabalho.

A cor, o tamanho e a forma dos frutos são os mais distintos caracteres que variam entre as espécies cultivadas do gênero Solanum e seus tipos selvagens (Kumar et al., 2008; 2013). Foi descrito alevado nível de plasticidade morfológica manifestada nos níveis genérico, de espécie e de cultivar dentro do gênero Solanum (Furini & Wunder, 2004). Muitas espécies desse gênero demonstram afinidades de cruzabilidade produzindo híbridos F1 férteis (Daunay et al., 1991; Oyelana & Ugborogho, 2008; Uwalaka et al., 2018).

Descritores morfológicos de culturas permitem uma rápida e fácil discriminação entre fenótipos (Matasyoh et al., 2015; Sifau et al., 2018), além de determinadas formas e colorações serem preferenciais em determinados mercados. Geralmente estas características são traços hereditários que podem ser facilmente registrados por meio de imagens e de observações e são igualmente expressos em todos os ambientes (Ayad et al., 1997; Naujeer, 2009).

Os resultados mostraram que comprimento, diâmetro e C/D são controlados por genes de efeitos predominantemente aditivos. Para diâmetro de fruto, detectou-se a ação de um gene maior, com efeito aditivo, em adição a poligenes, com efeitos também aditivos. Já para comprimento de fruto e relação C/D, somente se detectou a ação de poligenes, com efeito aditivo.

A predominância dos efeitos aditivos evidenciou-se nas estimativas dos graus médios de dominância, próximos de zero para as três características em questão, e nas estimativas das herdabilidades nos sentidos amplo e restrito, que foram muito próximas.

As maiores estimativas de herdabilidade obtidas para C/D relativamente às obtidas para comprimento ou diâmetro indicam que a relação C/D é menos sujeita a variações ambientais do que comprimento ou diâmetro, isoladamente.

A coloração verde-escura dos frutos imaturos demonstrou-se dominante sobre a coloração verde-clara. Embora o caráter coloração de frutos comprovadamente tenha herança monogênica, houve indícios da ação de genes modificadores epistáticos.

4. Conclusão

O diâmetro do fruto de jiló é controlado por um gene maior com efeito aditivo apenas, mais poligenes com efeitos aditivos apenas. O comprimento do fruto e a relação C/D são controlados poligenicamente, por genes cujos efeitos são predominantemente aditivos. A cor dos frutos imaturos é controlada por um gene maior com dois alelos, sendo o alelo que confere a coloração verde-escura dominante sobre o alelo que confere a coloração verde-clara, porém, há indícios de genes modificadores envolvidos.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, e à empresa HortiAgro Sementes S.A., pela disponibilização de espaço e funcionários para realização dos experimentos.

Referências

- Ayad, W. G., Hodgkin, T., Jaradat, A., & Rao, V. R. (1997). *Molecular genetic techniques for plant genetic resources: Report of an IPGRI Workshop*, 9-11.
- Carvalho, A. C. P., & Ribeiro, R. L. (2002). Análise da capacidade combinatória em cruzamentos dialélicos de três cultivares de jiloeiro. *Horticultura Brasileira*, 20, 48-51.
- Ceasa. (2021). Centrais de Abastecimento De Minas Gerais. Preço médio dos frutos de jiló redondo verde-escuro e comprido verde-claro no decorrer do ano. http://minas.ceasa.mg.gov.br/detec/Oferta_preco/prc_medio_prd_var/prc_medio_prd_var.php.
- Da Silva, D. M. S., da Silva, J. A., Nunes, J. C., Valero, M. A. M., & da Silva Maia, S. (2021). Crecimiento y producción de *Solanum gilo* Raddi en sistemas de cultivo en callejones con adición de estiércol bovino. *Research, Society and Development*, 10(15), 1-12.
- Daunay MC, Lester RN. & Laterrot, H. (1991). The Use of Wild Species for the Genetic Improvement of Brinjal Eggplant (*Solanum melongena*) and Tomato (*Lycopersicon esculentum*). In: Hawkes JG., Lester RN, Nee M & Estrada N. (Eds.). *Solanaceae III: Taxonomy, Chemistry and Evolution*. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, UK, 653p.
- Filgueira, F. A. R. (2012). *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. Universidade Federal de Viçosa. 307p.
- Furini, A., & Wunder, J. (2004). Analysis of eggplant (*Solanum melongena*)-related germplasm: morphological and AFLP data contribute to phylogenetic interpretations and germplasm utilization. *Theoretical and Applied Genetics*, 108(2), 197-208.
- Kumar, G., Meena, B. L., Kar, R., Tiwari, S. K., Gangopadhyay, K. K., Bisht, I. S., & Mahajan, R. K. (2008). Morphological diversity in brinjal (*Solanum melongena* L.) germplasm accessions. *Plant Genetic Resources*, 6(3), 232-236.
- Kumar, S. R., Arumugam, T., & Anandakumar, C. R. (2013). Genetic diversity in eggplant (*Solanum melongena* L.). *Plant Gene and Trait*, 4(2), 4-8.
- Lasmar, A. (2010). *Herança de caracteres relacionados ao formato e cor de frutos em jiló*. Dissertação de Mestrado do programa de Fitotecnia, Departamento de Agricultura, UFPA, 40 p.
- Martins, A. R., Paraíso, H. A., Gomes, L. S. P., Costa, C. A., Júnior, D. B., & dos Santos, J. C. (2018). Morfologia de frutos e qualidade física e fisiológica de sementes de cultivares de jiloeiro. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 12(4), 401-409.
- Matasyoh, L. G., Abel, S., Budahn, H., & Klocke, E. (2015). Characterization of the *Solanum nigrum* complex of Kenya by AFLP markers. *Int. J. Agric Sci. and Technol*, 3(1), 10-21.
- Mather, K., Jinks, J. I. (1984). *Introdução à genética biométrica*. Tradução de Francisco A. Moura Duarte et al. Sociedade Brasileira de Genética. 242 p.
- Mendonça, R. U. (2007). *Analyses of markerts in the United States for brasilian fresh produce grow in Massachusetts*. Amherst: University of Massachusetts. (Amherst for a degree of master of science). 96 p.

Modd, A. M., Graybill, F. A., Boes, D. C. 1974. *Introduction to the theory of statistics*. (3a ed.), Graw-Hill Kogakusha. 564 p.

Monteiro, A. B. (2009). Obtenção de híbridos e análise da heterose em jiló (*Solanum gilo* Raddi), UFLA, Lavras, MG, Brazil. 44. (M, S, Dissertation, in Portuguese).

Naujeer, H. B. (2009). *Morphological Diversity in Eggplant (*Solanum melongena* L.), their Related Species and Wild Types Conserved at the National Gene Bank in Mauritius*. A Master's Thesis submitted to the International Master Programme at the Swedish Biodiversity Centre, Uppsala, 74pp.

Oyelana, O. A., & Ugborogho, R. E. (2008). Phenotypic variation of F1 and F2 populations from three species of *Solanum* L.(Solanaceae). *African Journal of Biotechnology*, 7(14), 2359-2367.

Pinheiro, J. B., Pereira, R. B., de Freitas, R. A., & MELO, R. D. C. (2015). *A cultura do jiló*. Área de Informação da Sede-Col Criar Plantar ABC 500P/500R Saber (INFOTECA-E). Brasília, DF: Embrapa. 70 p.

Ramalho, M. A. P., Santos, J. D., & Zimmermann, M. D. O. (1993). *Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro*. UFG. 271p.

Sifau, M. O., Adekoya, K. O., Ogunkanmi, L. A., Oboh, B. O., & Ogundipe, O. T. (2018). Morphological variability among Nigerian eggplants (*Solanum* L.) and their wild relatives. *FUW Trends in Science & Technology Journal*, 3(2), 507-512.

Silva, W. D. (2003). *Estimadores de máxima verossimilhança em misturas de densidades normais: uma aplicação em genética*. Dissertação (Mestrado em Agronomia: área de concentração em Estatística e Experimentação)- Universidade Federal de Lavras, UFLA. 60p.

Uwalaka, O. A., Emeasor, K. C., Ibekwe, H. N., Usulor, E. C., Nwosu, P. U., Ebre, V. O., ... & Ikoro, J. I. 2018. *Field Screening of Five Varieties of Eggplant, *Solanum* spp. for Susceptibility to Eggplant Shoot and Fruit Borer, *Leucinodes orbonalis* Guen.(Lepidoptera: Pyralidae) Infestation in Okigwe, Southeastern Nigeria*. Proceedings of the 36th Annual Conference of Horticultural Society of Nigeria (Hortson), Lafia Faculty of Agriculture Shabu-Lafia Campus, Nasarawa State University, Keffi, Nasarawa State, Nigeria, 37-47.