



JÚLIA CARVALHO COSTA

**VIABILIDADE DA SELEÇÃO SIMULTÂNEA PARA
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E QUALIDADE FISIOLÓGICA
DE SEMENTES EM MILHO**

**LAVRAS – MG
2022**

JULIA CARVALHO COSTA

**VIABILIDADE DA SELEÇÃO SIMULTÂNEA PARA PRODUTIVIDADE DE
GRÃOS E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES EM MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi
Orientador

Prof. Dr. José Maria Villela Pádua
Coorientador

**LAVRAS – MG
2022**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Macedo, Júlia Rodrigues.

Viabilidade da seleção simultânea para produtividade de grãos e qualidade fisiológica de sementes em milho/
Julia Rodrigues Macedo. - 2022

55 p.

Orientador(a): Silvino Guimarães Moreira.

Coorientador(a): Bruno Montoani Silva.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Zea mays. 2. Seleção Recorrente Recíproca. 3. Heterose. I. Moreira, Silvino Guimarães. II. Silva, Bruno Montoani.

JULIA CARVALHO COSTA

**VIABILIDADE DA SELEÇÃO SIMULTÂNEA PARA PRODUTIVIDADE DE
GRÃOS E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES EM MILHO**

**FEASIBILITY OF SIMULTANEOUS SELECTION FOR GRAIN YIELD AND
PHYSIOLOGICAL SEED QUALITY IN MAIZE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 07 de fevereiro de 2022.

Dr. Adriano Teodoro Bruzi UFLA

Dr. José Maria Villela Pádua UFLA

Dr. Gustavo Andrade Cardoso UFLA

Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires UFLA

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi
Orientador

Prof. Dr. José Maria Villela Pádua
Coorientador

**LAVRAS - MG
2022**

A DEUS. Aos meus pais, pelo apoio incondicional em todas as etapas da minha vida. Ao meu esposo Antonio, por ser minha inspiração diária e à minha filha Luísa, por todo o carinho. Aos meus familiares e amigos e a todos que me incentivaram para que eu conseguisse chegar até aqui.

Com todo amor, admiração, respeito e gratidão.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre guiar meus passos, pela proteção, discernimento e perseverança para continuar sempre na busca pelo conhecimento.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), especialmente ao Departamento de Agricultura (DAG), e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/ Fitotecnia, pela oportunidade.

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

À FAPEMIG e ao CNPq pelo apoio financeiro para à condução do projeto.

A toda a minha família, em especial à minha mãe Luciana, ao meu padrasto Admilson, ao meu pai Jadir e à minha madrastra Flávia, que sempre me acompanharam, motivaram e ampararam durante todo esse tempo. À minha Irmã Isabela, por todo o apoio e carinho.

Ao amor da minha vida, Antonio, por sempre me incentivar a crescer, pelo carinho, auxílio, paciência e dedicação. À minha filha Luísa, pelo amor incondicional.

Aos demais familiares, pelo apoio e ajuda durante todas as etapas da minha formação.

Ao professor Dr. Adriano Teodoro Bruzi, pela orientação, amizade, dedicação confiança, paciência, disponibilidade, acompanhamento, e por todos os ensinamentos passados.

Ao Professor. Dr. José Maria Villela Pádua, pela coorientação.

Ao Grupo Pesquisa Soja, pelo companheirismo, convivência, amizade, ensinamento e auxílio durante toda a condução dos experimentos.

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

Muito obrigada!

RESUMO

Atualmente, a demanda não é somente para híbridos de milho mais produtivos, mas também que apresentem alta qualidade fisiológica de sementes. A qualidade de sementes é considerada o somatório dos atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que interferem diretamente no vigor das plantas. Desta forma, objetivou-se avaliar os parâmetros fisiológicos de sementes dos parentais e dos híbridos de milho obtidos em programa de seleção recorrente recíproca, por meio de análises fisiológicas e técnicas de análise de imagens, bem como estudar a viabilidade da seleção simultânea para a qualidade fisiológica de sementes e produtividade de grãos em dois programas de seleção recorrente recíproca em milho. Foram realizados dois experimentos, um à campo em delineamento em blocos casualizados e o outro em laboratório conduzido em delineamento inteiramente casualizado. Os parâmetros avaliados em campo foram dias para o florescimento feminino, dias para o florescimento masculino, inserção da primeira espiga, altura de plantas, plantas acamadas, porcentagem de plantas quebradas e prolificidade. Para a qualidade fisiológica foram obtidos os atributos de germinação aos quatro dias, germinação aos sete dias, vigor pelo teste de frio, índice de velocidade de emergência e a razão do comprimento da raiz pelo comprimento da parte aérea através do GroundEye®. Os dados foram submetidos à análise de variância com o auxílio do software R, sendo os efeitos avaliados pelo teste F e Scott Knott, ao nível de 5% de probabilidade. Obteve-se a heterose bem como o desdobramento dos efeitos por meio do contraste entre híbridos e recíprocos com objetivo de testar o efeito materno. As magnitudes da heterose permitem inferir que, quanto maior o número de ciclos seletivos e de recombinação, em média maior será a heterose para os caracteres produtividade de grãos e germinação das sementes. Não houve significância para o efeito materno em nenhum dos caracteres avaliados, embora a heterose média tenha se diferido ao comparar os híbridos com os recíprocos. As estimativas de resposta correlacionada permitem inferir que a seleção para produtividade de grãos reflete em ganhos na qualidade fisiológica de sementes, dependendo do ciclo seletivo em que o programa de melhoramento se encontra.

Palavras-chave: *Zea mays*. Seleção Recorrente Recíproca. Heterose.

ABSTRACT

Currently, the demand is not only for more productive corn hybrids, but also for those with high physiological seed quality. Seed quality is considered the sum of genetic, physical, physiological and sanitary attributes that directly interfere in plant vigor. Thus, the objective was to evaluate the physiological parameters of seeds of the parents and of the corn hybrids obtained in a program of reciprocal recurrent selection, through physiological analyzes and image analysis techniques, as well as to study the feasibility of simultaneous selection for quality Seed physiology and grain yield in two reciprocal recurrent selection programs in maize. Two experiments were carried out, one in the field in a randomized complete block design and the other in the laboratory in a completely randomized design. The evaluated traits in the field were days for female flowering, days for male flowering, insertion of the 1st ear, plant height, bedged plants, percentage of broken plants and prolificity. For physiological quality, the attributes germination at four days, germination at seven days, vigor by the cold test, emergence speed index and the ratio of the length of the aerial line to the length of the aerial part through the GroundEye® were obtained. The data were submitted to analysis of variance with the aid of the software R, and the effects were evaluated by the F test and Scott Knott, at the level of 5% probability. Heterosis was obtained as well as the analysis through the contrast between hybrids and reciprocals in order to test the maternal effect. The magnitudes of heterosis allow us to infer that the greater the number of selective and recombination cycles, the greater the average heterosis for the traits grain yield and seed germination. There was no significance for the maternal effect in any of the evaluated traits, although the average heterosis has differed when comparing the hybrids with the reciprocals. The correlated response estimates allow us to infer that the selection for grain yield reflects in gains in the physiological seed quality, depending on the selective cycle in which the breeding program are.

Keywords: *Zea mays*. Reciprocal Recurring Selection. Heterosis.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Aspectos morfológicos e fisiológicos da planta de milho	11
2.2	Seleção Recorrente Recíproca na cultura do milho	13
2.3	Alternativas para mensuração da qualidade fisiológica de sementes	15
2.4	Relação da qualidade fisiológica e implicação na produção de sementes de milho	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1	Local	20
3.2	Tratamentos Genéticos	20
3.3	Experimento em campo	23
3.3.1	Caracteres avaliados em campo	24
3.4	Experimento em Laboratório	24
3.4.1	Teste de Germinação (TPG)	24
3.4.2	Análise de imagens no GroundEye® (VG)	25
3.4.3	Teste de Frio (VF)	25
3.4.4	Índice de Velocidade de Emergência (IVE)	26
3.5	Análise estatística	26
3.5.1	Análise dos caracteres avaliados à campo	26
3.5.2	Análise dos parâmetros de qualidade fisiológica de sementes	27
3.6	Parâmetros genéticos e fenotípicos	27
3.6.1	Heterose	27
3.6.2	Efeito Materno	28
3.6.3	Estimativa da Resposta Correlacionada (RC)	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

Em programas de melhoramento de milho, seja no Brasil ou em qualquer país, a etapa inicial consiste na obtenção de linhagens superiores. Para se obter esses genótipos, pode-se utilizar a estratégia de reciclagem das linhagens via retrocruzamento, indução de haplóides e posterior duplicação e/ou adoção da autofecundação em populações melhoradas.

O melhoramento populacional possibilita a conservação da variabilidade genética e, ao mesmo tempo, um contínuo acréscimo da frequência de alelos favoráveis na população, o que conduz a média do caráter no sentido desejado, gerando assim, populações superiores e por consonância, o aumento da probabilidade de obtenção de melhores linhagens (YONG *et al.*, 2019).

Dentre os métodos de melhoramento populacional, destaca-se a seleção recorrente recíproca, que tem por objetivo melhorar a performance dos cruzamentos de duas populações de grupos heteróticos distintos. Nesta estratégia, duas populações são avaliadas em cruzamentos, em que cada população é utilizada como testadora da outra (SAMPOUX; GIRAUD; LITRICO, 2020).

A utilização de sementes de alta qualidade reflete na obtenção de plantas vigorosas e uniformes no campo, na baixa incidência de doenças, e conseqüentemente no aumento da produtividade (BASSEL, 2016; CHENG *et al.*, 2013; FINCH-SAVAGE; VENTURA *et al.*, 2012). Nesse sentido, é fundamental em programas de melhoramento, considerar os parâmetros de qualidade fisiológica das sementes, bem como os demais atributos agrônômicos (GONDIM *et al.*, 2006; MONTEIRO *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2008).

Silva *et al.* (2008), ao estudar o controle genético de características associadas a qualidade de sementes de milho, menciona que é possível melhorar o desempenho do híbrido em produtividade e, ao mesmo tempo, aprimorar a qualidade fisiológica de sementes dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo mercado.

Por seu turno, Monteiro *et al.* (2021), avaliaram a qualidade fisiológica de sementes de soja provenientes do programa de melhoramento por meio da seleção recorrente para produtividade de grãos e observaram que ao selecionar progênies mais produtivas, ocorreu também um incremento nos parâmetros de germinação, comprimento de radícula, comprimento de hipocótilo, vigor, potencial germinativo, índice de velocidade de emergência e porcentagem de emergência de plântulas. Deste modo, os resultados do estudo demonstraram que existe resposta correlacionada para a qualidade fisiológica na seleção devido à produtividade de grãos.

Alguns parâmetros genéticos de caracteres associados à qualidade de sementes, permitem orientar os melhoristas a respeito da possibilidade de sucesso com a seleção. Nerling, Coelho e Brümmer (2018), avaliaram a qualidade fisiológica de sementes de milho e verificaram que existe heterose para a germinação. Cervantes-ortiz *et al.* (2016), observaram que as características de qualidade da semente e vigor das plântulas, são afetadas pelo genitor feminino usado na produção de sementes, isto é, existência do efeito materno.

Para a avaliação da qualidade fisiológica da semente, vários testes são considerados, especialmente os de vigor e de germinação (GONZÁLEZ *et al.*, 2014). A avaliação do potencial fisiológico é primordial para obter plantas mais vigorosas, pois à crescente demanda por semente de milho de alto valor agregado, requer um controle de qualidade muito mais preciso e rigoroso.

Uma das técnicas utilizadas para complementar as análises estruturais de plantas e sementes é a análise de imagens. Por meio da automatização da análise pelo uso de processamento computadorizado de imagens, tem sido possível a otimização do tempo para obtenção de dados referentes ao vigor e a padronização da avaliação, uma vez que reduz a tendenciosidade das análises, resultando em tomadas de decisões mais precisas (MEDEIROS *et al.*, 2019).

Nesse sentido, são descritos na literatura diversos trabalhos nos quais foram utilizados esse sistema de análise de imagens com diversos programas, para a avaliação da qualidade fisiológica de milho (ALVARENGA; MARCOS-FILHO; JUNIOR, 2012; CASTAN; GOMES-JUNIOR; MARCOS-FILHO, 2018; PINTO *et al.*, 2015). Esses sistemas demonstraram a eficiência na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho, sendo uma ótima ferramenta de processamento digital de imagens, capazes de fazerem inferências sobre o vigor das sementes de forma automatizada.

Sendo assim, objetivou-se avaliar os parâmetros fisiológicos de sementes dos parentais e dos híbridos de milho obtidos em programa de seleção recorrente recíproca, por meio de análises fisiológicas e técnicas de análise de imagens, bem como estudar a viabilidade da seleção simultânea para a qualidade fisiológica de sementes e produtividade de grãos em dois programas de seleção recorrente recíproca em milho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos morfológicos e fisiológicos da planta de milho

O milho (*Zea mays L. spp mays*) é uma monocotiledônea (JAUNEAU *et al.*, 2020), pertencente à família Poaceae (Gramíneas), subfamília Panicoideae, tribo Maydeae, gênero *Zea* e espécie *mays*, originária da América Latina, mais precisamente no México. Foi um dos alimentos mais consumidos pelos povos há mais de 10.000 anos (JIAO *et al.*, 2012), e continua sendo um dos cereais mais consumidos pela população mundial, tanto pelo seu valor nutricional, como também pelo valor social (GUILLEN-DE LA CRUZ *et al.*, 2018), sendo a utilização deste cereal um fator importante em regiões de baixa renda.

É uma planta monóica, isto é, apresenta os órgãos masculinos e femininos separados, porém, na mesma planta. É uma espécie alógama e apresenta taxa de autofecundação inferior a 5%, sendo a sua polinização predominantemente realizada pelo vento (ORTIZ-TORRES *et al.*, 2010). É uma espécie C4 (HUGHES; LANGDALE, 2020); anual e diploide com $2n=2x=20$ cromossomos e apresenta, portanto, dez pares de cromossomos (PATERNIANI, 1980). Seu ciclo é bastante variado, mas nas condições brasileiras, as cultivares completam o seu ciclo em 120 a 160 dias (FANCELI; DOURADO NETO, 2004).

O milho apresenta folhas longas e lanceoladas, com nervura central em forma de canaleta, bem vigorosa; as folhas são invaginantes e inserem-se por nós do colmo, apresentando pilosidades. O colmo suporta as folhas e partes florais, além de servir como órgão de reserva. Contém raízes fasciculadas em que estão presentes raízes primárias e seminais, adventícias e de suporte (FORNASIERI FILHO, 2007).

A inflorescência masculina consiste numa panícula e encontra-se na extremidade superior da planta, após a folha bandeira, posicionada perfeitamente para dispersão de pólen pelo vento. De um eixo central, denominado ráquis, surgem ramificações laterais. De cada ramificação lateral ou secundária, podem surgir novas ramificações, denominadas terciárias. Ao longo das ramificações, estão localizadas as espiguetas, dispostas aos pares, sendo uma sésil e a outra pedunculada (FORNASIERI FILHO, 2007).

Os grãos de pólen são produzidos por meio dos estames, este, por sua vez, é formado pela antera na extremidade superior e pelo filete, na inferior. Nas anteras a meiose irá ocorrer em um grupo de células originadas por mitose denominadas de microsporócitos. Cada microsporócito, após a segunda divisão meiótica, origina quatro microsporócitos, os quais após diferenciação produz os grãos de pólen. O núcleo do grão de pólen sofre uma endomitose

formando o núcleo vegetativo e o núcleo reprodutivo. Este último se divide novamente em outros dois núcleos reprodutivos. Assim, o grão de pólen é constituído por três núcleos, dois reprodutivos e um vegetativo ((BIGNOTTO; RAMALHO; RIBEIRO, 2003).

Vale ressaltar que, em um pendão, existem milhares de anteras e cada antera produz, em média, 400 grãos de pólen. Infere-se conseqüentemente, que cada planta seja capaz de produzir milhões de grãos de pólen, ou seja, quantidade várias vezes superior à necessidade, o que possibilita enorme eficiência do processo de polinização (SILVA *et al.*, 2008).

Além do núcleo vegetativo e dos núcleos reprodutivos, tem-se duas estruturas que são membranas que recobrem o grão de pólen maduro, denominadas de exina e intina. A intina é a membrana mais interna ao grão de pólen, já a exina fica mais externa e apresenta reentrâncias que facilitam que o grão de pólen, ao cair no estilo estigma, fique aderido e ocorra a fertilização do óvulo.

A inflorescência feminina é denominada espiga. Ela ocorre por diferenciação das gemas existentes nas axilas foliares do colmo. As espiguetas ou gineceu dispõem-se aos pares, formando uma espiral em torno do sabugo, com um alinhamento em fileiras longitudinais, o que faz com que o número de fileiras de grãos presentes na espiga, normalmente, seja número par. Pode ocorrer a produção de mais de uma espiga, uma principal (a superior) e uma ou mais espigas secundárias (inferiores).

No processo de formação do óvulo, uma das células da nucela começa a se diferenciar e torna-se maior, para se preparar para a meiose. Essa por sua vez, sofre a primeira meiose, formando quatro células, sendo que três dessas células se degeneram. A única célula restante, passa por três mitoses sucessivas dando origem ao final, a oito células no óvulo maduro, sendo denominadas por três antípodas, dois núcleos polares, duas sinérgides e uma oosfera. Concomitantemente à formação dos oito núcleos, ocorre a formação da primina e da secundina, denominadas de integumento do óvulo, que por sua vez irão originar o tegumento das sementes.

O florescimento se dá pela emergência dos estilos estigmas e ocorre entre dois e três dias após a antese (GOODMAN; SMITH, 1987). Os estilos estigmas tornam-se receptivos logo após sua emergência, permanecendo assim, por cerca de 14 dias, dependendo das condições climáticas.

No processo de fertilização, o núcleo vegetativo do grão de pólen irá formar o tubo polínico, por meio da micrópila. Os núcleos reprodutivos chegam até a oosfera fazendo com que ocorra a dupla fertilização, sendo que um núcleo reprodutivo fertiliza a oosfera e o outro se une aos dois núcleos polares para formar o endosperma. As sinérgides e as antípodas no

processo de formação de sementes, são desmanchadas e servem de alimento para o próprio crescimento do embrião (MARTINS *et al.*, 2017).

Para que ocorra a fertilização é necessário que os grãos de pólen estejam viáveis, assim, segundo Martins *et al.* (2017) os grãos de pólen apresentam maior viabilidade entre 8 as 10 horas da manhã no terceiro dia da antese.

2.2 Seleção Recorrente Recíproca na cultura do milho

A seleção recorrente interpopulacional ou Seleção Recorrente Recíproca (SRR) foi proposta originalmente por Comstock, Robinson e Harvey (1949), com o objetivo de melhorar a capacidade de combinação entre duas populações.

A seleção recorrente recíproca é um procedimento cíclico, utilizado para melhorar o cruzamento entre duas populações e maximizar a heterose (KOLAWOLE *et al.*, 2018). Este método permite que as populações melhoradas sejam fontes de linhagens, produzindo híbridos superiores aos obtidos a partir das populações originais.

Na SRR, duas populações são utilizadas e avaliadas em cruzamentos recíprocos, nos quais cada população é utilizada como testadora da outra. Os genótipos de cada população que apresentarem melhor capacidade de combinação com a população recíproca são recombinados entre si e isolados da outra população, para gerarem as populações melhoradas. Deste modo, são obtidas progêneses autofecundadas (S_1) que são cruzadas com a outra população, sendo esses cruzamentos avaliados em ensaios de competição. Assim, são identificadas as melhores progêneses S_1 , as quais são recombinadas entre si para produzir as populações melhoradas do próximo ciclo (SOUZA JUNIOR, 2011).

Deste modo, neste tipo de processo, são necessários dois tipos de progêneses, uma para a avaliação (interpopulacional) e outra para a recombinação (intrapopulacional). O melhoramento do híbrido interpopulacional depende, portanto, do melhoramento *per se* das populações, bem como do melhoramento da heterose entre o cruzamento das populações (CHEN *et al.*, 2019).

O método proposto inicialmente por Comstock, Robinson e Harvey (1949) é trabalhoso devido a necessidade de autofecundar e cruzar plantas simultaneamente (HALLAUER; CARENA; MIRANDA FILHO, 2010). Deste modo, considerando a dificuldade do método original de SRR, foi proposto por Paterniani e Vencovsky (1977, 1978) os cruzamentos teste, com progêneses de meios-irmãos e o uso de progêneses de meios-irmãos obtidos de plantas prolíficas.

Na seleção recorrente recíproca com base em famílias de meios-irmãos, as progênies de meio-irmãos de cada uma das populações são cruzadas com populações contrastantes, realizando o despendoamento das progênies. Para a recombinação das progênies selecionadas utilizam-se as sementes remanescentes. A vantagem do método consiste na facilidade e simplicidade da execução, permitindo testar grande número de progênies.

No caso da SSR com base em famílias de meios-irmãos prolíficas, uma espiga é polinizada pela população recíproca e a outra espiga de cada planta é manualmente polinizada, usando plantas desejáveis da própria população. As progênies de meios-irmãos interpopulacionais são avaliadas, recombina-se posteriormente as progênies de meios-irmãos intrapopulacionais correspondentes às melhores interpopulacionais. O esquema permite seleção simultânea para capacidade de combinação (interpopulacional) e prolificidade (intrapopulacional), em um intervalo de duas gerações por ciclo, já que a recombinação é feita simultaneamente à obtenção das progênies.

Esses dois métodos apresentados anteriormente, são relativamente simples de conduzir, porém, por utilizarem meios-irmãos como unidades de recombinação, fazem com que os ganhos sejam reduzidos, com baixa eficiência quando comparados aos demais (SOUZA JÚNIOR, 2001).

Além desses métodos, foi proposto outro, por Hallauer e Eberhart (1970) utilizando progênies de irmãos germanos a partir de plantas prolíficas. Esse método consiste em utilizar famílias de irmãos completos, interpopulacionais e recombinação de famílias S_1 , para o melhoramento das populações e do híbrido, e de famílias de irmãos-completos interpopulacionais endogâmicas, para a obtenção de híbridos de linhagens.

Segundo Faria *et al.* (2008), o processo de SRR com irmãos-completos maximiza a seleção para capacidade específica de combinação, e favorece a obtenção de híbridos superiores de linhagens das populações envolvidas.

Com o uso de irmãos-germanos, é necessário a metade da área de avaliação, fazendo com que se possa avaliar o dobro de progênies na mesma área experimental. Conseqüentemente, a intensidade de seleção pode ser duplicada, visto que o método com unidade seletiva de irmãos germanos pode ser superior ao de progênies de meios-irmãos (SOUZA JÚNIOR, 2001). Ao avaliar dados do programa de SRR na população BS11, Hallauer e Carena (2012), concluíram que o método de meios-irmãos teve um ganho predito, por ano, de $2.2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, ao passo que o com irmãos germanos o ganho foi de $2.44 \text{ kg} \cdot \text{ano}^{-1}$.

Estudos com relação à seleção de linhagens de milho, com base em características de qualidade de sementes podem ser explorados em programas de melhoramento nas primeiras

etapas da obtenção de híbridos (PRAZERES; COELHO, 2016). Silva *et al.* (2008), ao estimarem os parâmetros genéticos e fenotípico observaram que populações de meio irmãos intra e interpopulacionais diferiram em relação a qualidade de sementes.

Na universidade Federal de Lavras há um programa de seleção recorrente recíproca em que vários ciclos seletivos foram efetuados. Reis *et al.* (2009), avaliaram o progresso genético de híbridos interpopulacionais de milho e inferiram que a seleção recorrente recíproca é eficiente em elevar a produção dos híbridos obtidos a partir de populações F₂ de híbridos simples de milho. Alves *et al.* (2015), ao estudarem o quinto ciclo de seleção recorrente recíproca em milho obtiveram alto rendimento médio de grãos e observaram que as progênies apresentaram potencial para serem exploradas comercialmente. Cardoso (2018) realizou análise de trilha e verificou que o comprimento médio do grão e o peso médio do sabugo foram as características que mais contribuíram para a heterose, na produção de grãos de milho, no sexto ciclo do programa de seleção recorrente recíproca.

2.3 Alternativas para avaliação da qualidade fisiológica de sementes

A qualidade da semente é fator primordial a ser garantida e mantida durante os processos de produção, no campo, na usina de beneficiamento e no armazenamento das sementes. A utilização de sementes de boa qualidade na instalação de lavouras de milho reflete diretamente na uniformidade, no elevado vigor de plantas no campo e, conseqüentemente, em altas produtividades (SENA; ALVES; MEDEIROS, 2015).

O teste de germinação é uma das informações importantes que determina o potencial máximo de germinação para o desempenho das sementes após sua semeadura (CATÃO *et al.*, 2010), sendo considerado um dos testes mais tradicionais para avaliação da qualidade fisiológica das sementes. Segundo Copeland e McDonald (1995), germinação de uma semente consiste na reativação do crescimento do eixo embrionário, resultando na ruptura da cobertura da semente e na emergência da plântula. Para Rosental, Nonogaki e Fait (2014), a germinação das sementes envolve uma sequência ordenada de eventos metabólicos, morfológicos e genéticos que resultam na formação da plântula.

Para que a germinação ocorra, as sementes devem absorver água (BRITO *et al.*, 2015) e a partir daí ocorre uma série de processos fisiológicos físicos e bioquímicos, os quais, na ausência de fatores limitantes, resultam no desenvolvimento do eixo embrionário e na emergência da plântula. Para a germinação ocorrer, de acordo com Popinigis (1977), deve haver um teor mínimo de água, sendo essa quantidade variável com a espécie.

Os fatores que afetam a germinação são internos e externos (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). Os fatores internos são a viabilidade, a longevidade, a dormência, a sanidade, o genótipo, o grau de maturidade bem como o vigor. Já os externos (do ambiente) que influenciam o processo germinativo são água, temperatura, oxigênio e luz.

Em complementação ao teste de germinação, há os testes de vigor, dentre eles o índice de velocidade de germinação que auxilia na distinção existentes entre lotes ou amostras de sementes (NAKAGAWA, 1994). Sena, Alves e Medeiros, (2015) ao realizarem um estudo sobre o vigor de sementes de milho, observaram que quanto maiores as taxas de germinação, maiores foram os valores obtidos de IVG.

Embora a avaliação da qualidade fisiológica das sementes por meio do uso do teste de germinação, revelou-se base confiável para regular o comércio, nem sempre os resultados obtidos reproduzem o potencial do lote em condições de campo (OHLSON *et al.*, 2010), principalmente porque o teste de germinação pode superestimar o potencial fisiológico das sementes uma vez que é realizado em condições controladas (SILVA; CICERO, 2014).

Por isso, as indústrias sementeiras realizam um controle de qualidade interno com o objetivo de controlar a qualidade das sementes, no qual, além dos resultados obtidos no teste de germinação, são realizados outros testes que podem simular o potencial de emergência de plântulas em campo sob condições adversas, os chamados testes de vigor.

Nesse sentido, dentro de um programa de controle de qualidade, a avaliação do vigor de sementes é fundamental e necessária para o sucesso da produção. Segundo a *International Seed Testing Association* (ISTA, 1995), vigor é um somatório de todas as propriedades que determinam o potencial de atividade e desempenho da semente, ou do lote de sementes, durante a germinação e a emergência das plântulas. Segundo a *Association of Official Seed Analysts* (AOSA, 2009), é o conjunto de propriedades que determina o potencial para rápida e uniforme emergência e desenvolvimento de plântulas normais, sob diferentes condições ambientais.

Os testes de vigor foram desenvolvidos para proporcionar informações adicionais ao teste de germinação, não para substituí-lo. Assim, foram desenvolvidos vários testes de vigor, a fim de retratar o comportamento das sementes sob uma ampla faixa de condições ambientais.

Para escolher qual ou quais testes a serem utilizados para a avaliação do vigor, são considerados aqueles métodos rápidos e eficientes que representem o potencial de emergência em condições de campo e que auxiliem principalmente na tomada decisão quanto ao manuseio, descarte e comercialização das sementes produzidas (BITTENCOURT *et al.*, 2012). Leva-se em consideração também, a relação dos testes com o comportamento das sementes frente às

situações específicas, tais como o armazenamento, a secagem, bem como o desempenho dos lotes no campo sob condições climáticas adversas (SIMONI; COSTA; GEROLINETO, 2011).

Os testes mais comumente usados na determinação do vigor são: teste de frio, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado. O teste de frio, é amplamente utilizado em programas de controle de qualidade para avaliação em sementes de milho, deste modo, esse foi o teste escolhido para ser utilizado neste trabalho.

No teste de frio, avalia-se o potencial fisiológico das sementes em germinarem sob condições de baixa temperatura do solo e, também com presença de microrganismos patogênicos. Essas condições, possibilitam aumento dos riscos de ocorrência de baixa emergência de plântulas, principalmente em lotes de sementes com vigor mais baixo.

O mais importante teste de vigor na cultura do milho é o teste de frio, pois é o que melhor se relaciona com a emergência em campo (NOLI *et al.*, 2008), contudo, é um teste relativamente demorado. Este teste é conduzido em substrato composto de uma mistura de terra e areia onde é realizada a semeadura, após as sementes são mantidas por 7 dias em câmara fria a 10 °C e, posteriormente, por 7 dias em câmaras de crescimento a 25 °C, demandando um total de 14 dias para a realização do teste (BARROS *et al.*, 1999). Já a principal vantagem deste teste é que consiste em um método de estresse que não requer equipamento adicional, sendo um teste simples (NAVARRO; FEBLES; HERRERA, 2015).

O crescimento inicial das plântulas de milho está diretamente relacionado com o vigor das sementes (MONDO *et al.*, 2013), o que irá refletir no desempenho das plantas em campo (DIAS; MONDO; CICERO, 2010).

Uma das tecnologias que vem sendo empregadas a fim de padronizar a análise de vigor é por meio de análise de imagens, pois além de ser uma técnica objetiva e rápida, as informações obtidas podem ser armazenadas nos bancos de dados e serem posteriormente acessados (ALVARENGA; MARCOS-FILHO; JUNIOR, 2012).

Pela técnica de análise de imagem é possível extrair dados da imagem e processar diferentes informações a partir desses dados (ANDRADE, 2014). Além disso, é possível obter os dados do teste de comprimento de plântulas, o que possibilita redução no tempo gasto para a avaliação, bem como eliminação da subjetividade do teste por meio da automatização desse processo, pois além de ser um teste rápido, esse seria também um teste com resultados mais precisos, uma vez que o processo sofre menor influência do analista (MARCOS FILHO; KIKUTI; LIMA, 2009).

2.4 Relação da qualidade fisiológica de sementes e produção de sementes de milho

O uso de sementes de elevada qualidade é fundamental para o sucesso do estabelecimento das lavouras e na obtenção de elevadas produtividades. As sementes são resultados das mais diversas combinações elucidadas pelos melhoristas, constituindo um dos principais insumos da agricultura.

Assim, o fator primordial de sucesso das lavouras está intrinsicamente ligado à qualidade das sementes utilizadas, sendo essa, determinada pela interação entre os atributos fisiológicos, sanitários, genéticos e físicos, os quais interferem diretamente no potencial de desempenho em campo e durante o armazenamento (MARCOS FILHO, 1999; PÉREZ DE LA CERDA *et al.*, 2007).

O milho é uma cultura representativa no mercado brasileiro de sementes. Altas tecnologias são investidas por meio dos agricultores para a obtenção de altas produtividades, o que demanda sementes de qualidade. A taxa de utilização de sementes híbridas de milho é expressiva, sendo que na safra de 2019/2020 foi de 91%. Nesta mesma safra demandou-se aproximadamente 348 mil toneladas de sementes híbridas de milho (ABRASEM, 2021). Deste modo, é necessário que as sementes a serem comercializadas apresentem bom potencial fisiológico (MEDEIROS *et al.*, 2019)

São exigidos padrões mínimos para a comercialização de sementes, a fim de controlar a qualidade das sementes disponíveis no mercado, assim é necessário que os lotes apresentem padrões mínimos de pureza física e de germinação. Esses valores variam por espécie e por categoria das sementes, sendo que, para sementes híbridas de milho da categoria da classe certificada de primeira geração (C1) e da categoria da classe não certificada de primeira geração (S1), são de 98% de pureza física e 85% de germinação (BRASIL, 2013).

A qualidade fisiológica das sementes é influenciada pelas características genéticas herdadas de seus genitores, bem como pelas condições ambientais. Os testes de germinação e vigor por exemplo, são altamente afetados pelas condições ambientais, métodos de colheita, secagem, processamento, tratamento, armazenamento e embalagem (ANDRADE *et al.*, 2001).

Por meio dos programas de melhoramento de milho são gerados diversos híbridos novos visando atender à crescente demanda do mercado. Assim, para assegurar sementes de alta qualidade há a necessidade de avaliar a qualidade das sementes nos programas de melhoramento de plantas, garantindo assim, a produção de sementes de alta qualidade.

As empresas e os programas de melhoramento de milho, atualmente, têm trabalhado no desenvolvimento de novos híbridos, sobretudo adaptados ao ambiente de cultivo, com bons

atributos agronômicos e que aumentem a lucratividade do setor ((RAMALHO; MARQUES; LEMOS, 2021; ZALUSKI, 2021). Contudo, nesses programas de melhoramento não se contempla nas etapas iniciais, a qualidade fisiológica das sementes (MORENO, 2016).

De acordo com Silva *et al.* (2008), há necessidade de se avaliar a qualidade de sementes, com o intuito de assegurar a produção de sementes que atendam a demanda dos produtores, para fins de comercialização e controle de qualidade no processo produtivo. Desta forma é necessário e fundamental avaliar os genótipos de milho tanto para os caracteres agronômicos, mas também para os atributos de qualidade fisiológicos de sementes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

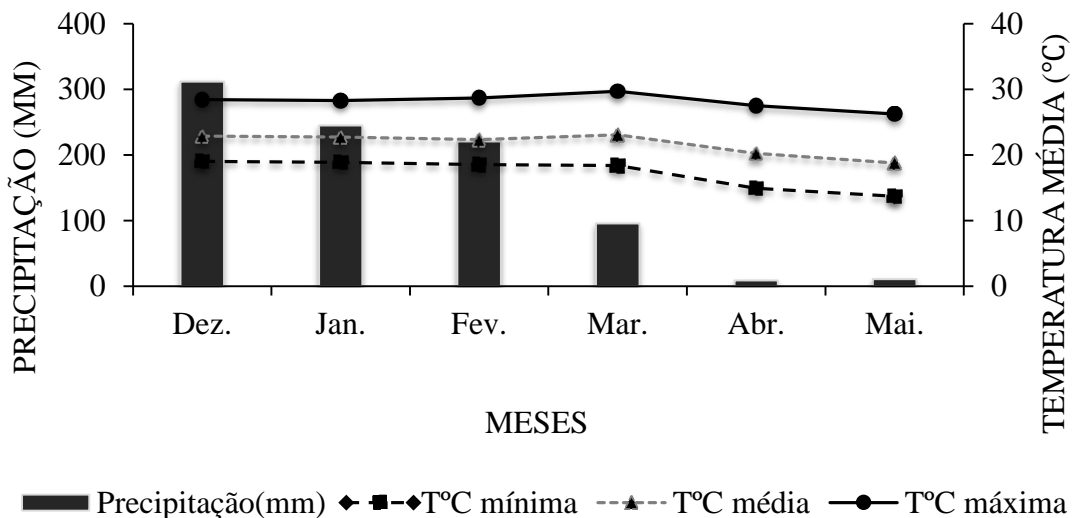
3.1 Local

A pesquisa foi realizada em laboratório e em campo. Para aferir a qualidade fisiológica das sementes realizou-se os testes no Laboratório de Análise de Sementes (LAS-UFLA) no Departamento de Agricultura-DAG.

Em campo, o experimento foi conduzido na área experimental do Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária (Fazenda Muquém) da Universidade Federal de Lavras - UFLA, localizada a uma altitude de 954 m, 21°12'11'' de latitude e 44°58'47'' de longitude, no município de Lavras, na safra 2020/2021.

Os dados climatológicos referentes ao ambiente utilizado durante o período da produção das sementes de milho estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Média mensal da precipitação (mm) e temperatura em Lavras- MG; safra 2020/2021.



Fonte: INMET/ BDMEP- Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, Estação de Lavras (2022).

3.2 Tratamentos genéticos

Para a realização do trabalho foram utilizadas quatro populações em equilíbrio de Hardy-Weinberg, denominadas de populações UFLA A, UFLA B, UFLA C e UFLA D, originárias de híbridos simples comerciais. As populações UFLA A e UFLA B são convencionais e as populações UFLA C e UFLA D possuem a tecnologia RR (Roundup Ready) e BT (*Bacillus thuringiensis*).

As populações UFLA A e UFLA B envolvidas neste estudo, foram derivadas originalmente de dois híbridos simples (HS) comerciais pelo intercruzamento de plantas F_1 de cada HS, gerando duas populações F_2 em equilíbrio de Hardy-Weinberg. Logo, foi iniciado o programa de seleção recorrente recíproca.

O primeiro ciclo seletivo (C_0) foi realizado no ano de 2003, em que foram semeadas 2000 sementes de cada população em dois blocos contínuos. Plantas prolíficas, em cada população, tiveram as espigas inferiores autofecundadas e as superiores cruzadas aos pares com plantas da população recíproca, obtendo progênies S_1 e irmãos completos. As avaliações das progênies de irmãos completos interpopulacionais foram realizadas na safra 2003/2004. As progênies S_1 de cada população, correspondentes aos 10% das progênies irmãos completos mais produtivos, foram recombinadas, para obtenção das populações UFLA A e UFLA B do ciclo 1 (C_1). Diferindo do ciclo anterior, no C_1 , foram geradas, em plantas prolíficas, progênies de meios-irmãos intrapopulacionais na espiga inferior e de meios-irmãos interpopulacionais na espiga superior. As progênies de meios-irmãos interpopulacionais foram avaliadas, na safra 2004/2005, em que foram selecionadas 15%, com base no caráter produtividade. As progênies dos meios-irmãos intrapopulacionais, associadas às progênies interpopulacionais selecionadas em cada população, foram recombinadas para obtenção das populações C_2 . No terceiro ciclo seletivo, o procedimento foi o mesmo realizado para o C_0 , novamente foram geradas progênies S_1 e progênies de irmãos completos interpopulacionais. As progênies interpopulacionais selecionadas tiveram suas progênies S_1 recombinadas para obtenção das populações do ciclo 3 (C_3). Equivalentemente, foram obtidos o quarto, quinto, sexto e sétimo ciclo, sendo este último avaliado na safra 2017/2018 (CARDOSO, 2018).

Em julho de 2018, foi obtido o oitavo ciclo de seleção (C_8), em que foram identificadas as plantas prolíficas, sendo, a segunda espiga autofecundada e na primeira obtida as progênies de irmão germano interpopulacional. As avaliações das progênies de irmãos completos interpopulacionais foram realizadas em janeiro de 2019. Além disso, as sementes de cada progênie $S_{0:1}$ foram novamente autofecundadas obtendo-se progênies $S_{0:2}$, de todas as progênies cujo irmãos germanos interpopulacionais foram avaliados, com o intuito de se ter maior quantidade de sementes para se obter as populações híbridas.

Por seu turno, as populações UFLA C e UFLA D estão em seu primeiro ciclo seletivo (C_0). Para isso, em julho de 2018, foram obtidas 45 progênies das populações UFLA C e UFLA D. Plantas prolíficas, em cada população, tiveram as espigas inferiores autofecundadas e as superiores cruzadas aos pares com plantas da população recíproca, obtendo progênies S_1 e

irmãos completos. As avaliações das progênes de irmãos completos interpopulacionais foram realizadas na safrinha 2019.

Tabela 1 - Descrição das unidades de avaliação e recombinação utilizadas durante os oito ciclos seletivos da população AB e do primeiro ciclo da população CD, do Programa de seleção recorrente recíproca da UFLA.

Ciclo (AB)	Unidade de Recombinação	Unidade de Avaliação
C0	S1	Irmãos- Completos
C1	Meio- Irmãos	Meio-Irmãos
C2	S1	Irmãos- Completos
C3	S1	Irmãos- Completos
C4	S1	Irmãos- Completos
C5	S1	Irmãos- Completos
C6	S1	Irmãos- Completos
C7	S1	Irmãos- Completos
C8	S2	Irmãos- Completos
Ciclo (AB)	Unidade de Recombinação	Unidade de Avaliação
C0	S1	Irmãos- Completos
C1	S2	Irmãos- Completos

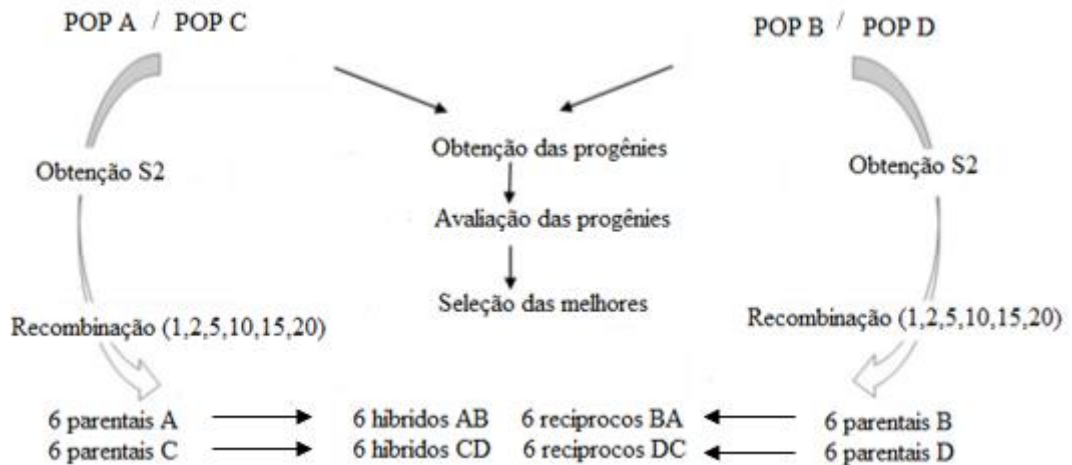
Fonte: Da autora (2022).

Após a análise dos dados dos irmãos germanos interpopulacionais, de ambas as populações, foram identificados os 20 melhores. As sementes parcialmente endogâmicas (S_2) dessas populações foram recombinadas para se obter o S_0 da população melhorada. Assim, foram obtidos os híbridos superiores em seis proporções de recombinação, ou seja, com 1; 2; 5; 10, 15 ou 20 progênes recombinadas conforme a descrição:

- i) Progênie da população UFLA A que obteve a melhor performance híbrida com a progênie da população UFLA B;
- ii) Duas melhores progênes de cada população;
- iii) Cinco melhores progênes de cada população;
- iv) 10 melhores de cada população;
- v) 15 melhores de cada população;
- vi) 20 melhores de cada população.

O mesmo foi realizado para obtenção da população UFLA C e UFLA D.

Figura 2 - Esquema da obtenção das populações utilizadas na condução do trabalho.



Fonte: Da autora (2022).

3.3 Experimento em campo

Foram obtidos 48 tratamentos, sendo: i) seis híbridos da população UFLA AB, ii) seis híbridos da população UFLA CD, iii) seis recíprocos UFLA AB, iv) seis recíprocos UFLA CD, v) seis parentais UFLA A, vi) seis parentais UFLA B, vii) seis parentais UFLA C e viii) seis parentais UFLA D.

Adotou-se o delineamento de blocos casualizados (DBC) em quatro áreas contíguas, sendo i) composto pelos híbridos UFLA A x UFLA B e seus recíprocos; ii) composto pelos parentais UFLA A e UFLA B; iii) composto pelos híbridos UFLA C e UFLA D e seus recíprocos e iv) composto pelos parentais UFLA C e UFLA D.

O preparo do solo seguiu o sistema de plantio direto, com parcelas constituídas de duas linhas de três metros, com espaçamento de 0,60 metros entre linhas e 0,25 metros entre plantas (4 plantas por metro linear). Foi realizada a adubação de plantio no sulco com o formulado 08-28-16 (N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente). A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada entre os estádios fenológicos V2 a V4. Os demais tratos culturais foram realizados de acordo com a necessidade e recomendação para a cultura do milho na região.

A colheita das sementes foi realizada no estágio R6, quando a cultura atingiu a maturidade fisiológica. Utilizou-se debulhadora de espigas mecânica e, posteriormente, as sementes foram separadas das impurezas, com auxílio de abanador mecânico, sendo acondicionadas em saco de papel.

3.3.1 Caracteres avaliados em campo

- i. Dias para o florescimento masculino: 50% das plantas da parcela apresentando pendão exposto com liberação de pólen pelas anteras;
- ii. Dias para o florescimento feminino: 50% das plantas da parcela com bonecas apresentando estilo-estigma visíveis;
- iii. Altura de plantas: altura, em metros, do solo até a inserção da folha bandeira;
- iv. Altura de inserção da primeira espiga: altura, em metros, do solo até a inserção da primeira espiga;
- v. Número de plantas quebradas em porcentagem;
- vi. Número de plantas acamadas em porcentagem;
- vii. Prolificidade por meio da razão entre o número de espigas pelo estande (número total de plantas na parcela);
- viii. Produtividade de grãos: foi determinada a partir da colheita das parcelas. Após a padronização da umidade de grãos para 13%, foi definida a produtividade, em $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a partir da conversão da área de cada parcela.

3.4 Experimento em laboratório

O experimento em laboratório foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 48 tratamentos, correspondente aos parentais e aos híbridos.

Para a realização dos testes em laboratório foram utilizadas conjunto de peneiras de crivo circular para uniformização dos tamanhos das sementes, sendo as sementes retidas na peneira de maior diâmetro, utilizadas para os testes.

3.4.1 Teste de germinação (G.)

O teste de germinação foi realizado com três repetições de 25 sementes por amostra, em rolo de papel, tipo Germitest, embebido em água na quantidade de 2,5 vezes o peso do substrato seco, a 25 °C. As avaliações foram realizadas aos quatro (teste de primeira contagem) e aos sete dias após a semeadura, e seguiram os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), sendo os resultados expressos em porcentagem.

3.4.2 Análise de imagens no GroundEye® (R/A.)

Para a obtenção das imagens das plântulas foi realizado o teste de germinação com uma repetição de 25 sementes por tratamento. No teste de germinação utilizou como substrato o papel Germitest na forma de rolo umedecido com água, equivalente a 2,5 vezes o seu peso seco. Posteriormente, os rolos foram acondicionados em germinador regulado a $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ por quatro dias, quando foi realizada a captura das imagens em duas repetições de 10 sementes, sendo as demais descartadas.

Para a captura das imagens foi utilizado o sistema GroundEye®, versão S800 constituído de um módulo de captação de informações e um software de análise. O módulo de captação da versão utilizada, é composto por uma câmera de alta resolução e por uma bandeja de acrílico.

As plântulas de milho foram removidas do papel de germinação, com zelo para que suas estruturas fossem preservadas. Posteriormente, foram dispostas na bandeja de acrílico do equipamento para a obtenção das imagens de alta resolução.

Na configuração da análise para a calibração da cor de fundo, foi utilizado o modelo de cor CIELab com índice de luminosidade de 0 a 100, dimensão “a” -18,0 a 42,0 e dimensão “b” de -56,5 a -10,6. Depois da calibração da cor do fundo foi realizada a análise das imagens.

Para a análise das imagens foi extraído valores médios da razão do comprimento da raiz pelo comprimento da parte aérea (R/A).

3.4.3 Teste de Frio com terra (VF.)

Foi realizado com quatro repetições de 25 sementes para cada tratamento. A semeadura foi realizada em bandejas de plástico (51x30x9,7cm) utilizando uma mistura de terra e areia na proporção de 1:2, sendo umedecido com 60% da sua capacidade de retenção de água. Após a semeadura as caixas foram mantidas em câmara fria a $10\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ e sem luz, durante 7 dias. Posteriormente, as caixas foram acondicionadas em câmara de crescimento vegetal com temperatura de $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ e regime de luz constante durante 7 dias, quando foi realizada a contagem de plântulas emergidas (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999). Os resultados foram expressos em porcentagem.

3.4.4 Índice de Velocidade de Emergência (IVE.)

Foi realizado com quatro repetições de 25 sementes para cada tratamento, semeadas em bandejas plásticas com substrato composto por areia + solo na proporção de 1:2, umedecido a 60% da capacidade de retenção de água. Após a semeadura, as bandejas foram acondicionadas em câmara de crescimento vegetal regulada a 25 °C sob luz constante.

As avaliações das plântulas foram realizadas diariamente, no mesmo horário, a partir do dia em que surgiram as primeiras plântulas normais. Essas plântulas normais foram computadas e retiradas do substrato. O procedimento de avaliação prosseguiu até o dia da última contagem, estabelecido pela RAS, como o sétimo dia para sementes de milho (BRASIL, 2009). O índice foi calculado conforme fórmula proposta por Maguire (1962).

Em que:

$$IVE = (G1/N1) + (G2/N2) + \dots + (Gn/Nn) \quad (1)$$

onde,

IVE = índice de velocidade de emergência;

G1, G2... Gn = número de plântulas normais computadas nas contagens (dias);

N1, N2... Nn = número de dias da semeadura à 1a, 2a ,..., n-ésima.

3.5 Análise estatística

3.5.1 Análise dos caracteres avaliados à campo

Os dados foram submetidos à análise de variância individual com auxílio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017), sendo obtida de acordo com o seguinte modelo:

$$y_{ijk} = \mu + p_i + r_j + b_{(k)j} + e_{ijk} \quad (2)$$

em que:

y_{ijk} : observação da parcela que recebeu a progênie i no bloco k dentro da repetição j;

μ : constante geral associada a todas as observações;

p_i : efeito aleatório da progênie i;

r_j : efeito aleatório da repetição j;

$b_{(k)j}$: efeito aleatório do bloco k dentro da repetição j;

e_{ijk} : erro experimental aleatório associado à observação y_{ijk} .

3.5.2 Análise dos parâmetros de qualidade fisiológica de sementes

Os testes realizados para a avaliação da qualidade fisiológica das sementes foram analisados segundo o delineamento experimental inteiramente casualizado, apresentado por Ramalho *et al.* (2005), considerando todos os efeitos, exceto a média, como aleatórios:

$$Y_{ij} = m + t_i + \bar{e}_{ij} \quad (3)$$

em que:

Y_{ij} : valor observado do tratamento i na repetição j ;

m : média geral;

t_i : efeito do híbrido/ parental i ($i = 1, 2, 3, \dots, 48$) ij

\bar{e}_{ij} : erro experimental associado à observação Y_{ij} , assumindo que os erros são independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância σ^2 .

As análises foram realizadas por meio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017) e as médias comparadas pelo teste de Scott e Knott (1974).

3.6 Parâmetros genéticos e fenotípicos

3.6.1 Heterose

Para realizar análise da heterose, foi utilizado o seguinte estimador (HALLAUER, CARENA, MIRANDA FILHO, 2010).

$$h = F_1 - \left[\left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) \right] \quad (4)$$

em que:

F_1 : Média do híbrido simples;

P_1 : Média do genitor 1, do respectivo híbrido simples;

P_2 : Média do genitor 2, do respectivo híbrido simples.

3.6.2 Efeito materno

Foi mensurado o efeito materno para a qualidade fisiológica de sementes e para a produtividade, através do desdobramento da análise por meio do contraste entre os híbridos x recíprocos, utilizando a análise de variância, teste de F a 5% de probabilidade.

3.6.3 Estimativa da Resposta Correlacionada (RC)

Estimou-se a resposta correlacionada (RC) considerando a seleção tendo como referência a produtividade de grãos e a resposta para os atributos de qualidade fisiológica, com intensidade de seleção de 20% de acordo com o estimador apresentado abaixo:

$$RC_{y/y'}(\%) = \frac{\overline{BLUP's}_{y/y'}}{\bar{y}} \times 100 \quad (5)$$

em que:

$\overline{BLUP's}_{y/y'}$: média dos BLUP's dos genótipos para característica y, pela seleção efetuada na característica y';

\bar{y} : média geral dos genótipos para característica Y;

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resumos das análises de variância dos caracteres avaliados em campo das populações AB e CD, encontram-se nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. A precisão experimental é fundamental para se realizar inferências precisas, possibilitando assim, a obtenção de estimativas próximas ao valor real do caráter (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2020). Neste trabalho, a qualidade experimental foi aferida por meio do coeficiente de variação. Nas análises de variância, em geral, observaram-se boa precisão experimental para a maioria dos caracteres avaliados, com exceção dos caracteres acamamento (ACAM) e quebramento de plantas (QUEB), em que o CV % estimado foi de grande magnitude em ambas as populações. Valores altos de CV para essas características também foram observados por Gomes *et al.* (2010) e Nascimento Júnior, Môro e Môro (2021) que evidenciaram que estes caracteres são altamente influenciados por fatores ambientais não controlados como o vento e a chuva (JIFAR *et al.*, 2017).

Relatos na literatura evidenciam que altos CV's praticamente impossibilitam a detecção de diferenças significativas entre os tratamentos (NARDINO *et al.*, 2020). No presente trabalho, contudo, constatou-se diferenças estatísticas para o quebramento de plantas para o FV genitores da população AB (TABELA 2).

Para a fonte de variação (FV) tratamentos (trat), verifica-se que na população AB, a maioria dos caracteres avaliados foram significativos, com exceção para acamamento de plantas (ACAM) e prolificidade (PROLIF) (TABELA 2). Já a população CD, considerando a mesma fonte de variação, observa-se que para todos os caracteres, não se detectou diferença significativa para nenhum dos caracteres (TABELA 3).

Vale ressaltar que, a população CD, por estar no primeiro ciclo de seleção recorrente recíproca e por ter avaliado menor número de progênies de irmão germano, não foram detectadas diferenças estatísticas.

Para que o sucesso da SRR continue por gerações, deve haver variabilidade genética e boa complementariedade entre as populações. Vieira *et al.* (2021) avaliaram a combinação ideal do número de progênies e repetições a serem empregadas na seleção recorrente recíproca de irmãos completos e verificaram que as amplitudes das estimativas dos parâmetros estudados oscilam menos quando são utilizadas pelo menos 130 progênies com quatro repetições, permitindo estimativas precisas de variância genética e fenotípica, bem como uma estimativa confiável de herdabilidade e ganho de seleção.

Para a fonte de variação genitores, na população AB apenas os caracteres inserção da primeira espiga, altura e quebramento de plantas foram significativos pelo teste F (TABELA 2). Para a fonte de variação híbridos, observa-se efeito significativo para os caracteres produtividade de grãos e dias para o florescimento masculino para a população CD (TABELA 3).

O efeito materno foi mensurado por meio do contraste, descrito nas tabelas de análise de variâncias (TABELAS 2 e 3). Não se observou efeito materno para nenhum dos caracteres de campo. Muito embora a magnitude da heterose tenha sido superior (BA vs AB) para o caráter produtividade de grãos.

Quando a herança de uma característica é controlada por genes nucleares, não são observadas diferenças significativas entre um híbrido e seu recíproco. No entanto, se houver efeito citoplasmático na herança de uma característica, a prole terá o fenótipo genitor feminino (HALLAUER *et al.*, 2010). Esse tipo de herança pode ser explicada por dois mecanismos: (i) um efeito materno, no qual o fenótipo da progênie é determinado pelo elemento citoplasmático materno como resultado de genes nucleares e, (ii) uma herança extracromossômica, em que a herança é devida a genes localizados no citoplasma, principalmente em mitocôndrias e cloroplastos (RAMALHO *et al.*, 2012).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para os caracteres produtividade de grãos (PROD) em kg por hectare, dias para o florescimento feminino (DFF), dias para o florescimento masculino (DFM), inserção da 1ª espiga (INS ESP) em metro, altura de plantas (ALT) em metro, porcentagem de acamamento de plantas (ACAM), porcentagem de plantas quebradas (QUEB) e prolificidade (PROLIF). Dados referentes aos parentais, híbridos e recíprocos de milho das populações A e B, em Lavras – MG, safra 2020/2021.

FV	GL	AB p- valor							
		PROD	DFF	DFM	INS ESP	ALT	ACAM	QUEB	PROLIF
Trat	23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,259	0,000	0,697
Genitores (G)	11	0,897	0,316	0,268	0,034	0,003	0,299	0,000	0,784
Híbridos (H)	11	0,099	0,199	0,483	0,101	0,762	0,221	0,907	0,860
Híbridos (AB)	5	0,209	0,646	0,860	0,111	0,462	0,211	0,763	0,886
Recíprocos (BA)	5	0,079	0,049	0,146	0,123	0,811	0,316	0,907	0,624
AB vs. BA	1	0,383	0,953	0,690	0,931	0,549	0,227	0,285	0,371
G vs. H	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,761	0,000	0,021
Heterose AB		71,29	-7,98	-10,12	12,61	12,11	23,65	-28,21	-12,53
Heterose BA		82,15	-7,93	-9,48	12,47	14,02	-5,04	-43,38	-21,88
Média Genitores		2689,49	67,33	68,19	0,91	1,66	12,69	26,30	1,22
Média AB		4488,18	61,94	61,27	1,02	1,86	15,13	16,57	1,26
Média BA		4777,58	62,00	61,72	1,02	1,88	11,52	12,78	1,35
Média Geral		3661,19	64,65	64,85	0,97	1,77	13,01	20,49	1,27
CV (%)		26,94	4,38	5,12	9,92	7,96	67,93	51,3	36,30

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para os caracteres produtividade de grãos (PROD) em kg por hectare, dias para o florescimento feminino (DFF), dias para o florescimento masculino (DFM), inserção da 1ª espiga (INS ESP) em metro, altura de plantas (ALT) em metro, porcentagem de acamamento de plantas (ACAM), porcentagem de plantas quebradas (QUEB) e prolificidade (PROLIF). Dados referentes aos parentais, híbridos e recíprocos de milho das populações C e D, em Lavras – MG, safra 2020/2021.

FV	GL	CD p- valor							
		PROD	DFF	DFM	INS ESP	ALT	ACAM	QUEB	PROLIF
Trat	23	0,069	0,283	0,175	0,224	0,323	0,362	0,119	0,888
Genitores (G)	11	0,256	0,924	0,954	0,474	0,574	0,207	0,339	0,962
Híbridos (H)	11	0,035	0,052	0,021	0,100	0,142	0,570	0,061	0,601
Híbridos (CD)	5	0,102	0,118	0,064	0,029	0,253	0,409	0,070	0,516
Recíprocos (DC)	5	0,039	0,054	0,026	0,439	0,086	0,597	0,102	0,457
CD vs. DC	1	0,346	0,416	0,521	0,690	0,980	0,391	0,601	0,651
G vs. H	1	0,471	0,293	0,215	0,761	0,992	0,389	0,419	0,746
Heterose CD		2,39	1,54	0,97	-0,12	0,04	30,12	28,38	7,00
Heterose DC		10,95	0,46	2,09	-1,15	0,08	8,53	16,38	3,85
Média Genitores		3269,77	60,66	60,11	0,96	1,69	12,66	15,90	1,12
Média CD		3279,58	61,61	60,44	0,96	1,69	15,75	18,85	1,08
Média DC		3525,71	60,94	61,11	0,95	1,69	13,20	17,01	1,11
Média Geral		3336,21	60,97	60,45	0,96	1,70	13,58	16,92	1,11
CV (%)		23,24	4,00	5,13	10,81	8,13	65,09	62,27	21,33

Fonte: Da autora (2022).

É fundamental para os programas de melhoramento genético de plantas, a existência de variabilidade (BERNARDO, 2010; RAMALHO *et al.*, 2012), sendo importante para selecionar indivíduos superiores. Os ganhos em programas de seleção recorrente são dependentes da manutenção da variabilidade genética ao longo dos ciclos de seleção. Desta forma as médias para a população AB e CD estão descritas nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Verificou-se ampla variação na magnitude para o caráter produtividade de grãos. Na população AB, embora não tenha sido possível verificar diferença nas médias calculadas, o menor valor observado para os híbridos foi de 3278,76 kg. ha⁻¹ (2AB) e o maior valor para o híbrido 1BA (6104,04 kg. ha⁻¹), o que indica a presença de variabilidade genética entre as progênes do oitavo ciclo da SRR e revela a existência de diferenças na complementaridade dos cruzamentos entre as duas populações (TABELA 4).

Já na população CD, embora houvesse diferença significativa pelo teste F para a FV híbridos, o mesmo não apresentou diferença pelo teste de média para o caráter produtividade de grãos, no qual verificou-se uma amplitude de variação de 2202,61 kg. ha⁻¹ (TABELA 5). É oportuno mencionar que a amplitude de variação das médias evidencia a existência de variabilidade genética entre os tratamentos (parentais, híbridos e recíprocos). Vieira *et al.* (2021), ao avaliarem o potencial de progênes de milho do sexto ciclo da SRR, verificaram superioridade das progênes em relação a testemunha, o que permite inferir sobre o potencial das progênes para a geração de híbridos comerciais.

Contíguo à produtividade de grãos, outras características agrônômicas são de interesse e desejáveis na cultura do milho, como a altura de plantas, altura de inserção da primeira espiga e prolificidade. Baretta *et al.* (2016) identificaram que os caracteres morfológicos com maior efeito genético direto sobre a produtividade de grãos em diferentes híbridos de milho são a prolificidade e o diâmetro de espigas.

Para o caráter prolificidade, observa-se uma maior expressividade para a população AB, que apresentou média geral de 1,27 (TABELA 2) e a população CD, com média de 1,11 (TABELA 3). Geralmente, plantas prolíficas apresentam maior tolerância às condições adversas, devido à capacidade de desenvolver pelo menos uma espiga, mesmo sob condições de estresse, e mais de uma quando as condições ambientais são favoráveis (BARETTA *et al.*, 2019). A prolificidade também está relacionada à capacidade da planta em compensar a perda de rendimento de grãos quando os estandes das plantas estão abaixo do ideal (SANGOI *et al.*, 2010).

Com relação à altura média das plantas, nota-se que na população AB, os genitores apresentaram diferença significativa para este caráter (TABELA 2). As maiores estimativas de

altura foram observadas pelos parentais 4B, 5B e 6B, com médias de 1,87; 1,86 e 1,81 m, respectivamente, e a menor altura de planta foi observada no parental 3B com média de 1,46 m (TABELA 4).

Para o caráter altura de inserção da primeira espiga, na população AB, verificou-se maior valor para o híbrido 1AB e para o genitor 5B (1,14 m e 1,03 m, respectivamente). Os menores valores observados foram de 0,92 m para o híbrido 3AB e de 0,73 m para o genitor 3B (TABELA 4). Embora não houvesse diferença para a altura de inserção da primeira espiga para a população CD, evidenciou-se uma amplitude de variação equivalente a 0,24 m (TABELA 5).

Como as características morfológicas da altura do milho e seus componentes têm alta herdabilidade e heterose, se torna simples obter dados fenotípicos precisos em comparação com outras características complexas, essas características são frequentemente mensuradas nas pesquisas com a cultura do milho (WANG *et al.*, 2016; ZHOU *et al.*, 2018).

Ao longo do processo histórico de melhoramento, foram sendo selecionadas plantas de milho menores, compactas e com mais baixa altura de espigas, para diminuir a porcentagem de acamamento e possibilitar o adensamento de plantio. Plantas mais altas, tendem a ser suscetíveis ao acamamento e/ou quebramento, reduzindo drasticamente sua produtividade (XUE *et al.*, 2017). Esse fato é notório na população AB, em que o parental 2B apresentou alta taxa de quebramento de plantas (84,17%) e baixa produtividade. Os demais tratamentos obtiveram porcentagem média que variaram de 39,97% (5B) a 9,37% (3A) (TABELA 4). O acamamento pode reduzir a produtividade em até 28% durante o estágio de 12 folhas (V12) e em até 48% durante a fase de enchimento de grãos. Além disso, plantas acamadas ou quebradas são de difícil colheita e, geralmente, apresentam grãos malformados (LI *et al.*, 2015).

Carnimeo *et al.* (2020), observaram que as variáveis altura da planta tem uma ótima relação com o quebramento e acamamento de plantas no campo, em que, quanto maior a altura da planta, maior foi a quebra e acamamento de genótipos de milho. Além disso, verificaram que com a seleção indireta de híbridos que são mais resistentes ao quebramento e acamamento, aumentou o rendimento de grãos da cultura. Contudo, Liu *et al.* (2021), retrataram que, quanto maior a altura das plantas, maior a altura de inserção da primeira espiga e maior a proporção de espigas para a maioria dos híbridos de milho avaliados e, conseqüentemente, maior produtividade de grãos.

Não houve diferenças significativas entre os tratamentos para o número de dias da semeadura até a floração feminina e masculina na população AB. Para o florescimento masculino os híbridos 5BA e 5AB figuram-se como os mais precoces (59 dias) e o híbrido 2BA

apresentou maior número de dias (65,33 dias). Já o florescimento feminino o híbrido 5BA floresceu mais precocemente (59,33 dias) e o híbrido 2BA é o mais tardio (66,33 dias) (Tabela 4).

Vale ressaltar, que na cultura do milho, o fenômeno protandria se manifesta. Desta forma, para obtenção de híbridos, a escolha adequada para os genitores feminino e masculino é de suma importância para a produção de sementes. Chassaigne-Ricciulli *et al.* (2020), ao estudarem o desenvolvimento de sementes híbridas verificaram que, para assegurar a sincronização floral das linhagens é necessário escalonar a semeadura de duas fileiras de machos, uma semeada com a fêmea e uma segunda plantada quando a fêmea atingir o estágio fenológico adequado.

Nos programas de melhoramento se tem buscado obter populações mais precoces, que possam ser mais bem posicionadas nas janelas de safras de cultivo, visando maior aproveitamento de chuvas e evitando veranicos em períodos críticos de desenvolvimento (CÂMARA *et al.*, 2007; EDWARDS, 2011).

Associado a isso, o menor intervalo de florescimento é caracterizado como essencial em genótipos mais tolerantes a seca. O estresse por déficit hídrico acarreta aumento desse intervalo, o que ocasiona menor fertilização dos óvulos e desenvolvimentos dos grãos e reduz significativamente a produtividade (NGUGI *et al.*, 2013). De acordo com Pias *et al.* (2017), o estresse hídrico moderado (redução de 50% da água disponível) nas fases de pendramento e enchimento de grãos reduzem cerca de 20% a 30% a produção de massa seca na cultura do milho.

Tabela 4 - Tabela de médias para os caracteres produtividade de grãos (PROD) em kg por hectare, dias para o florescimento feminino (DFF), dias para o florescimento masculino (DFM), inserção da 1ª espiga (INS ESP) em metro, altura de plantas (ALT) em metro, porcentagem de acamamento de plantas (ACAM), porcentagem de plantas quebradas (QUEB) e prolificidade (PROLIF). Dados referentes aos parentais, híbridos e recíprocos de milho das populações A e B, em Lavras – MG, safra 2020/2021.

HÍBRIDOS	PROD (kg. ha ⁻¹)		DFF		DFM		INS ESP (m)		ALT (m)		ACAM (%)		QUEB (%)		PROLIF	
1BA	6104,04	a	62,00	a	61,00	a	1,12	a	1,97	a	14,77	a	14,33	a	1,48	a
2BA	5290,87	a	66,33	a	65,33	a	1,10	a	1,84	a	7,90	a	13,67	a	1,51	a
1AB	5115,46	a	61,00	a	61,67	a	1,14	a	1,86	a	16,73	a	20,87	a	1,28	a
5AB	4894,83	a	59,67	a	59,00	a	1,00	b	1,83	a	25,53	a	13,73	a	1,14	a
4AB	4853,69	a	62,67	a	62,33	a	1,09	a	1,99	a	6,53	a	23,13	a	1,21	a
3AB	4751,77	a	63,00	a	61,33	a	0,92	b	1,82	a	15,30	a	12,27	a	1,42	a
5BA	4737,43	a	59,33	a	59,00	a	0,94	b	1,82	a	9,43	a	6,03	a	1,38	a
3BA	4587,19	a	61,67	a	61,67	a	1,03	b	1,92	a	20,97	a	15,03	a	1,22	a
6BA	4175,19	a	59,67	a	59,33	a	0,97	b	1,88	a	5,13	a	13,87	a	1,19	a
6AB	4034,57	a	62,33	a	61,33	a	1,00	b	1,9	a	12,13	a	14,47	a	1,19	a
4BA	3770,77	a	63,00	a	64,00	a	0,98	b	1,9	a	10,93	a	13,80	a	1,36	a
2AB	3278,76	a	63,00	a	62,00	a	1,00	b	1,76	a	14,6	a	15,00	a	1,35	a
GENITORES	PROD (kg. ha ⁻¹)		DFF		DFM		INS ESP (m)		ALT (m)		ACAM (%)		QUEB (%)		PROLIF	
2A	3359,17	a	65,67	a	66,33	a	0,90	a	1,63	b	9,70	a	18,00	c	1,13	a
6A	3358,76	a	67,33	a	68,00	a	0,92	a	1,74	a	6,93	a	13,03	c	1,27	a
3B	2929,16	a	66,33	a	67,33	a	0,73	b	1,46	b	19,9	a	27,37	b	1,48	a
6B	2900,07	a	67,33	a	66,67	a	0,96	a	1,81	a	19,53	a	19,03	c	1,31	a
4B	2872,05	a	65,67	a	69,33	a	0,95	a	1,87	a	22,03	a	30,33	b	1,15	a
5A	2594,72	a	66,33	a	65,00	a	0,82	b	1,59	b	11,10	a	10,87	c	1,07	a
2B	2539,08	a	72,33	a	72,33	a	0,94	a	1,57	b	13,27	a	84,17	a	1,56	a
5B	2495,24	a	67,00	a	68,67	a	1,03	a	1,86	a	17,00	a	39,97	b	1,34	a
3A	2450,18	a	67,33	a	66,00	a	0,99	a	1,79	a	4,83	a	9,37	c	1,03	a
4A	2436,5	a	66,33	a	67,67	a	0,91	a	1,59	b	8,97	a	12,10	c	1,14	a
1A	2200,31	a	68,33	a	70,00	a	0,93	a	1,56	b	11,17	a	17,63	c	1,11	a
1B	2138,72	a	68,00	a	71,00	a	0,84	b	1,47	b	7,90	a	33,73	b	1,05	a

As médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 95% de confiabilidade.

Fonte: Do Autor (2022).

Tabela 5 - Tabela de médias para os caracteres produtividade de grãos (PROD) em kg por hectare, dias para o florescimento feminino (DFF), dias para o florescimento masculino (DFM), inserção da 1ª espiga (INS ESP) em metro, altura de plantas (ALT) em metro, porcentagem de acamamento de plantas (ACAM), porcentagem de plantas quebradas (QUEB) e prolificidade (PROLIF). Dados referentes aos parentais, híbridos e recíprocos de milho das populações C e D, em Lavras – MG, safra 2020/2021.

HÍBRIDOS	PROD (kg. ha ⁻¹)	DFF	DFM	INS ESP (m)	ALT (m)	ACAM (%)	QUEB (%)	PROLIF								
1DC	4794,31	a	59,33	a	59,00	a	1,04	a	1,82	a	6,33	a	16,20	a	1,20	a
1CD	4292,06	a	60,67	a	59,33	a	1,06	a	1,80	a	10,37	a	33,70	a	1,07	a
2DC	3705,94	a	62,67	a	64,67	a	0,94	a	1,61	a	17,57	a	29,93	a	1,12	a
2CD	3566,32	a	59,00	a	57,67	a	0,87	a	1,59	a	15,40	a	24,67	a	1,15	a
5DC	3565,88	a	59,33	a	58,67	a	0,96	a	1,81	a	14,97	a	17,47	a	1,07	a
5CD	3486,92	a	63,67	a	63,67	a	1,00	a	1,75	a	14,03	a	15,70	a	1,08	a
3DC	3255,30	a	63,00	a	63,00	a	0,85	a	1,53	a	16,67	a	3,33	a	1,13	a
4DC	3165,33	a	58,33	a	57,67	a	0,97	a	1,67	a	14,23	a	15,63	a	1,18	a
6CD	2930,24	a	61,67	a	59,00	a	0,90	a	1,60	a	12,47	a	10,23	a	1,03	a
4CD	2810,27	a	60,67	a	59,00	a	0,86	a	1,65	a	25,23	a	10,60	a	1,16	a
6DC	2667,52	a	63,00	a	63,67	a	0,94	a	1,74	a	9,47	a	19,50	a	1,00	a
3CD	2591,70	a	64,00	a	64,00	a	1,09	a	1,78	a	17,03	a	18,23	a	1,00	a
GENITORES	PROD (kg. ha ⁻¹)	DFF	DFM	INS ESP (m)	ALT (m)	ACAM (%)	QUEB (%)	PROLIF								
5D	4155,56	a	62,00	a	60,00	a	0,95	a	1,69	a	7,23	a	10,07	a	1,15	a
6D	3719,77	a	59,33	a	61,67	a	0,98	a	1,76	a	3,50	a	28,70	a	1,05	a
2D	3688,99	a	60,67	a	61,67	a	0,95	a	1,68	a	11,13	a	7,43	a	1,10	a
6C	3531,53	a	62,00	a	60,67	a	0,86	a	1,65	a	12,23	a	11,13	a	1,18	a
2C	3492,72	a	59,33	a	58,00	a	1,05	a	1,77	a	11,60	a	13,73	a	1,19	a
3D	3441,42	a	60,00	a	59,33	a	1,04	a	1,81	a	13,17	a	14,43	a	1,13	a
5C	3395,04	a	60,33	a	59,33	a	0,98	a	1,78	a	15,60	a	23,97	a	1,11	a
4D	3015,44	a	60,00	a	59,67	a	0,88	a	1,62	a	16,47	a	10,70	a	1,13	a
1C	2987,79	a	60,33	a	59,00	a	0,95	a	1,63	a	19,27	a	20,03	a	1,14	a
4C	2715,70	a	61,33	a	60,00	a	0,93	a	1,69	a	9,10	a	23,10	a	1,09	a
3C	2690,28	a	61,67	a	60,33	a	1,03	a	1,56	a	25,73	a	15,20	a	1,16	a
1D	2403,01	a	61,00	a	61,67	a	0,99	a	1,70	a	7,00	a	12,40	a	1,04	a

As médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 95% de confiabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

O vigor híbrido pode ser observado na área foliar, no desenvolvimento do sistema radicular, na altura de plantas, na produtividade, dentre outros caracteres (FUJIMOTO *et al.*, 2018). A heterose, para o caráter produtividade de grãos (TABELA 6), variou de 181,35% (recíproco 1BA) a 11,18 % (híbrido 2 AB) na população AB. Observa-se que o híbrido 2AB apresentou menor heterose média, contudo, ao comparar com o recíproco 2BA, verifica-se maior magnitude da heterose (79,4%). Esse resultado indica a importância da escolha dos parentais masculino e feminino para instalação de campos de produção de sementes híbridas de milho, visando a obtenção de sementes com alto potencial produtivo. Khamphan *et al.* (2020) obtiveram valores altos e positivos de heterose em todos os híbridos para o caráter rendimento de grãos. Esse fato denota divergência genética entre as linhagens femininas e masculinas utilizadas.

Para a população CD, apesar da heterose para o híbrido 2CD ter sido negativa, ou seja, -0,68% quando se considerou o respectivo híbrido recíproco, a estimativa da heterose foi de 3,31%. Significância do efeito recíproco para essa característica também foi observado para os híbridos 3 e 4.

Para a obtenção dos genitores é fundamental apresentarem boa complementariedade em razão da presença de alelos favoráveis dominantes em um dos genitores para os caracteres de interesse. Quando as linhagens se complementam de forma satisfatória, indica que possuem boa capacidade específica de combinação e os híbridos oriundos do cruzamento possuem alto vigor em função de conter maior número de alelos dominantes favoráveis do que os genitores isoladamente. Assim, vale salientar a importância da complementariedade das populações ao longo do programa de seleção recorrente recíproca.

Cruzamentos com alta heterose evidenciam um alto potencial para uso em programas de melhoramento (BERTAN *et al.*, 2009). Hallauer *et al.* (2010) apresentaram uma compilação de dados de heterose para produtividade de grãos em milho, com valores médios de heterose de 20,63%, o que é inferior às estimativas médias observadas na população AB do presente estudo (AB 71,29% e BA 82,15%-) (TABELA 2). Baretta *et al.* (2019) mensuraram a heterose de híbridos intervarietais, no qual apresentou valores médios de 88,35% para a produtividade, valores semelhantes aos obtidos neste estudo.

Fica evidente também, a importância dos ciclos seletivos no programa de seleção recorrente recíproca, pois a população que se encontra no VIII ciclo de SRR (AB) apresentou maior heterose média que a população que está no I ciclo (CD). Essa observação reforça a importância dos repetidos ciclos de seleção e recombinação.

Tabela 6 - Heterose (%) para o caráter produtividade de grãos (PROD). Dados referentes aos híbridos e seus recíprocos de milho das populações A, B, C e D, em Lavras – MG, safra 2020/2021.

HÍBRIDOS	\overline{HT}_{AB} %	\overline{HT}_{BA} %
1 AB	135,79	181,35
2 AB	11,18	79,4
3 AB	76,67	70,55
4 AB	82,86	42,06
5 AB	92,33	86,15
6 AB	28,92	33,42
HÍBRIDOS	\overline{HT}_{CD} %	\overline{HT}_{DC} %
1 CD	59,24	77,87
2 CD	-0,68	3,21
3 CD	-15,47	6,18
4 CD	-1,93	10,46
5 CD	-7,64	-5,55
6 CD	-19,18	-26,43

Fonte: Da autora (2022).

Nos programas de melhoramento genético da cultura do milho, são realizados milhares de cruzamentos anualmente, e testados, sobretudo, com foco principal no caráter produtividade de grãos, além desse atributo, é factível mensurar o potencial associado à qualidade fisiológica de semente. Desta forma, foi realizado o experimento em laboratório, a fim de avaliar o potencial fisiológico das sementes de milho. O coeficiente de variação (CV) obtido da análise de variância (TABELA 7) indica o grau de precisão na condução do experimento, e para se obter sucesso na seleção de genótipos superiores é de suma importância que os experimentos apresentem elevada precisão experimental (MATEI *et al.*, 2017). Com base no CV obtido, observa-se que os caracteres avaliados em laboratório, obtiveram boa precisão experimental.

No resumo da análise de variância apresentado na Tabela 7, observa-se que, para a FV tratamentos, houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) para germinação aos 4 dias (G4.), vigor pelo teste de frio (VF.) e vigor pelo GroundEye® (VG.) na população AB. Para a fonte de variação (FV) híbridos, germinação aos 4 dias e vigor pelo GroundEye® apresentaram significância. Já na população CD, para o FV genitores, germinação aos 4 e aos 7 dias foram significativos. Estes resultados confirmam a existência de variação para estes caracteres avaliados.

Com relação à heterose para a germinação aos 4 dias, verifica-se que em média, tanto a população AB como a CD, apresentaram uma maior magnitude para os recíprocos. Verifica-se por meio do contraste realizado, que houve efeito materno para o caráter germinação aos 4 dias

tanto para a população AB quanto CD (TABELA 7). José *et al.* (2005) observaram diferenças acentuadas nos valores de germinação e vigor entre os híbridos e recíprocos, o que indica efeito materno para a característica em questão.

Abreu *et al.* (2019), ao estudarem o controle genético de caracteres associados à tolerância ao déficit hídrico, observaram significância para o efeito recíproco nos caracteres de qualidade fisiológica de sementes de milho, destacando a importância da escolha correta do genitor feminino para a obtenção de híbridos.

As médias referentes às fontes de variação genitores (G) e híbridos (H), envolvendo todos os testes de qualidade de sementes estão apresentadas na Tabela 8. Observa-se que, na população AB, os híbridos 4BA, 4AB, 1BA, 2BA, 3AB e 6BA e os genitores 1B, 4B, 5B, 6B, 6A e 2B apresentaram desempenho superior para o caráter germinação aos quatro dias. Na população CD, os híbridos superiores para esse caráter foram 2DC, 2CD e 4DC e os genitores foram 1C, 2C, 5C, 6C, 2D, 5D, 4D e 1D.

Para a porcentagem de germinação aos sete dias, embora não tenha apresentado diferença significativa para a população AB, foi observada maior porcentagem para o híbrido 6AB (93,33%) e para o parental 6A com 96,00%. Na população CD verificou-se maior porcentagem de germinação para o híbrido 6CD (92,00%) e para o parental 1C com 94,67%.

É oportuno mencionar que os tratamentos, 6BA, 2AB, 5BA, 3A, 1A e 3B da população AB e 15 tratamentos da população CD obtiveram porcentagem de germinação abaixo da exigida para a comercialização de sementes no Brasil, que é de 85%, conforme Instrução Normativa Nº 45 de 17 de setembro de 2013 (BRASIL, 2013). A possível explicação para este fato são os fatores ambientais, em especial as chuvas próximas a colheita da cultura, e também as diferenças devido a constituição genética dos parentais/ híbridos.

De modo geral, os resultados para o teste de vigor para a população AB, por meio do teste frio indicaram ótimo desempenho dos tratamentos, sendo o teste realizado com o solo umedecido com 60% da sua capacidade de retenção de água. Machado *et al.* (2020) avaliaram a qualidade fisiológica de sementes de milho sob condições de déficit hídrico no solo e verificaram que lâminas de irrigação menores que 70% da capacidade de campo diminuiu os teores de água no solo e afetaram negativamente a qualidade fisiológica das sementes de milho produzidas.

Verifica-se uma maior magnitude para os híbridos 1AB, 2 AB e 3 BA e para o parental 3A no teste R/A por meio de imagens no GroundEye®. Embora o parental 3A tenha se destacado, verifica-se uma baixa taxa de germinação (81,33) aos 7 dias. Desta forma, utilização de parâmetros que permitam a percepção da redução da qualidade das sementes é de extrema

importância na análise de sementes, pois auxiliará na remoção de materiais com baixo potencial de emergência das plantas (SILVA; CICERO, 2014). Para a população CD observa-se maior valor para o híbrido 3DC (6,83) e para o parental 4C (5,71).

É oportuno mencionar a importância dos ciclos seletivos no programa de seleção recorrente recíproca. Através da SRR é possível realizar o melhoramento genético por etapas, por meio de ciclos sucessivos de seleção e recombinação, que surgem como uma excelente alternativa para obtenção dos ganhos constantes, à longo prazo sem perder a variabilidade da população (SILVA *et al.*, 2008).

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para os caracteres germinação aos quatro dias (G4.), germinação aos sete dias (G7.), vigor pelo teste frio, (VF.), índice de velocidade de emergência (IVE) e razão do comprimento da raiz pelo comprimento da parte aérea através do GroundEye® (R/A.). Dados referentes aos parentais, híbridos e recíprocos de milho das populações A, B, C e D, no Laboratório de Análises de Sementes- UFLA.

FV	GL	AB p- valor					CD p- valor				
		G4.	G7.	VF.	IVE	R/A.	G4.	G7.	VF.	IVE	R/A.
Trat	23	0,000	0,323	0,000	0,590	0,000	0,010	0,276	0,085	0,355	0,068
Genitores (G)	11	0,013	0,338	0,000	0,508	0,000	0,037	0,049	0,071	0,728	0,152
Híbridos (H)	11	0,004	0,276	0,000	0,878	0,008	0,023	0,868	0,651	0,122	0,048
Híbridos (AB/ CD)	5	0,008	0,491	0,000	0,531	0,013	0,098	0,414	0,190	0,212	0,437
Recíprocos (BA/DC)	5	0,086	0,307	0,019	0,718	0,133	0,062	0,977	0,964	0,087	0,011
AB/CD vs. BA/DC	1	0,042	0,080	0,354	0,905	0,013	0,047	0,913	0,840	0,841	0,502
G vs. H	1	0,000	0,775	0,474	0,067	0,940	0,138	0,720	0,009	0,533	0,544
Heterose AB/CD (%)		51,04	2,19	2,21	-3,33	11,01	2,67	1,09	5,36	1,80	12,19
Heterose BA/DC (%)		70,47	-2,89	0,14	-3,67	-6,37	21,96	1,36	6,09	1,30	7,22
Média Genitores		30,36	87,75	94,75	17,31	3,36	37,17	83,39	92,67	17,42	3,46
Média AB/CD		44,13	89,54	95,83	16,71	3,59	37,33	84,00	95,17	17,71	3,10
Média BA/DC		51,24	84,91	94,83	16,65	3,12	44,16	84,33	95,50	17,60	3,76
Média Geral		39,02	87,49	95,04	17,00	3,36	38,96	83,78	94,00	17,54	3,45
CV (%)		26,23	8,88	8,14	9,82	12,69	25,85	10,9	10,09	10,44	28,05

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 8. Tabela de médias para os caracteres germinação aos quatro dias (G4.), germinação aos sete dias (G7.), vigor pelo teste frio, (VF.), índice de velocidade de emergência (IVE) e razão do comprimento da raiz pelo comprimento da parte aérea através do GroundEye® (R/A.). Dados referentes aos parentais, híbridos e recíprocos de milho das populações A, B, C e D, no Laboratório de Análises de Sementes- UFLA.

HÍBRIDOS	G4.	G7.	VF.	IVE	R/A.	HÍBRIDOS	G4.	G7.	VF.	IVE	R/A.
4BA	58,67 a	88,00 a	94,00 a	16,02 a	2,54 b	2DC	58,67 a	85,33 a	95,00 a	18,62 a	3,83 b
4AB	58,11 a	90,56 a	100,00 a	17,32 a	3,50 b	2CD	53,33 a	82,67 a	97,00 a	19,37 a	2,56 c
1BA	57,33 a	89,33 a	91,00 a	16,06 a	2,81 b	4DC	50,00 a	83,61 a	95,00 a	18,39 a	2,83 c
2BA	54,67 a	85,33 a	92,00 a	16,91 a	3,05 b	6DC	42,67 b	82,67 a	94,00 a	16,80 a	2,49 c
3AB	54,67 a	89,33 a	99,00 a	16,87 a	2,97 b	1DC	41,33 b	84,00 a	96,00 a	16,21 a	3,65 b
6BA	54,67 a	82,67 a	95,00 a	17,21 a	3,39 b	6CD	37,33 b	92,00 a	95,00 a	17,71 a	3,29 c
6AB	46,67 b	93,33 a	97,00 a	17,01 a	3,34 b	5DC	36,28 b	82,39 a	96,00 a	16,36 a	2,95 c
5BA	45,33 b	76,00 a	97,00 a	16,23 a	3,21 b	3DC	36,00 b	88,00 a	97,00 a	19,23 a	6,83 a
5AB	41,33 b	92,00 a	99,00 a	17,38 a	3,20 b	4CD	36,00 b	84,00 a	94,00 a	18,60 a	2,96 c
3BA	36,77 b	88,15 a	100,00 a	17,49 a	3,71 a	1CD	33,33 b	88,00 a	97,00 a	17,10 a	3,00 c
2AB	33,33 b	81,33 a	94,00 a	16,31 a	3,96 a	3CD	33,33 b	77,33 a	90,00 a	16,34 a	3,41 c
1AB	30,67 b	90,67 a	86,00 a	15,37 a	4,54 a	5CD	30,67 b	80,00 a	98,00 a	17,12 a	3,38 c
GENITORES	G4.	G7.	VF.	IVE	R/A.	GENITORES	G4.	G7.	VF.	IVE	R/A.
1B	42,67 a	86,67 a	86,00 a	18,19 a	2,07 c	1C	46,67 a	94,67 a	93,00 a	18,20 a	3,11 c
4B	41,33 a	89,33 a	95,00 a	17,23 a	2,72 c	2C	46,67 a	93,33 a	97,00 a	15,97 a	2,87 c
5B	38,39 a	94,55 a	96,00 a	16,96 a	3,31 b	5C	46,67 a	92,00 a	92,00 a	17,89 a	3,23 c
6B	37,89 a	89,11 a	98,00 a	19,08 a	3,25 b	6C	42,67 a	81,33 b	90,00 a	17,36 a	3,37 c
6A	36,00 a	96,00 a	97,00 a	17,94 a	3,90 b	2D	42,15 a	88,15 a	92,00 a	17,24 a	3,51 c
2B	33,33 a	88,00 a	88,00 a	16,48 a	2,47 c	5D	40,06 a	79,77 b	94,00 a	18,71 a	2,97 c
5A	29,33 b	86,67 a	100,00 a	16,55 a	3,12 b	4D	36,61 a	85,17 a	100,00 a	17,80 a	3,23 c
2A	28,00 b	88,00 a	95,00 a	16,30 a	3,39 b	1D	36,00 a	73,33 b	90,00 a	16,60 a	2,77 c
3B	22,67 b	82,67 a	95,00 a	16,98 a	3,42 b	6D	31,17 b	75,61 b	94,00 a	18,03 a	3,92 b
3A	21,33 b	81,33 a	96,00 a	17,07 a	5,59 a	3C	29,33 b	81,33 b	91,00 a	16,92 a	2,72 c
4A	18,67 b	90,67 a	94,00 a	17,82 a	3,40 b	3D	25,33 b	82,67 b	90,00 a	16,77 a	4,16 b
1A	14,67 b	80,00 a	97,00 a	17,17 a	3,68 b	4C	22,67 b	73,33 b	89,00 a	17,52 a	5,71 a

As médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 95% de confiabilidade.

Fonte: Do Autor (2022).

No melhoramento do milho, a heterose pode ser explorada usando a seleção recorrente recíproca (SRR), um método no qual os efeitos aditivos e não aditivos são maximizados para melhorar a hibridização entre duas populações de diferentes grupos heteróticos (VIEIRA *et al.*, 2021).

A qualidade de sementes é a associação de atributos físicos, genéticos, fisiológicos e sanitários. Na Tabela 9, para o caráter germinação aos quatro dias na população AB, verificou-se que em todos os híbridos houve manifestação da heterose e verificou-se diferenças entre os híbridos e os recíprocos, comprovando o efeito materno existente para esse caráter por meio do contraste (TABELA 7). Silva Neta *et al.* (2020) avaliaram a germinação de sementes de milho e obtiveram a heterose variando de -0,25 a 81,25%, revelando que o vigor híbrido pode e deve ser explorado para a produção de híbridos tolerantes a baixas temperaturas durante o processo de germinação.

Tabela 9 - Heterose (%) para os caracteres germinação aos quatro dias (G4.), germinação aos sete dias (G7.), vigor pelo teste frio (VF.), índice de velocidade de emergência (IVE) e razão do comprimento da raiz pelo comprimento da parte aérea através do GroundEye® (R/A.). Dados referentes aos parentais, híbridos e recíprocos de milho das populações A, B, C e D, no Laboratório de Análises de Sementes-UFLA.

HÍBRIDOS	G4.		G7.		VF.		IVE		R/A.	
	\overline{HT}_{AB}	\overline{HT}_{BA}	\overline{HT}_{AB}	\overline{HT}_{BA}	\overline{HT}_{AB}	\overline{HT}_{BA}	\overline{HT}_{AB}	\overline{HT}_{BA}	\overline{HT}_{AB}	\overline{HT}_{BA}
1 AB	6,98	100,00	8,80	7,20	-11,96	-1,45	-13,06	-9,17	57,88	-2,18
2 AB	8,70	78,26	-7,58	-3,03	5,20	0,83	-0,46	3,20	34,98	4,10
3 AB	148,48	67,14	8,94	7,50	7,34	9,48	-0,92	2,74	-34,11	-17,67
4 AB	93,70	95,56	0,62	-2,22	11,73	-1,14	-1,16	-8,57	14,38	-16,99
5 AB	22,07	33,88	1,53	-16,12	2,00	-1,83	3,73	-3,15	-0,54	-0,23
6 AB	26,31	47,97	0,84	-10,69	-1,03	-5,07	-8,12	-7,06	-6,51	-5,25

HÍBRIDOS	G4.		G7.		VF.		IVE		R/A.	
	\overline{HT}_{CD}	\overline{HT}_{DC}	\overline{HT}_{CD}	\overline{HT}_{DC}	\overline{HT}_{CD}	\overline{HT}_{DC}	\overline{HT}_{CD}	\overline{HT}_{DC}	\overline{HT}_{CD}	\overline{HT}_{DC}
1 CD	-19,35	0,00	4,76	0	12,09	9,57	-1,74	-6,87	-2,97	-27,04
2 CD	20,09	32,10	-8,9	-5,96	5,35	1,05	16,64	12,10	40,46	-27,72
3 CD	21,95	31,71	-5,69	7,32	-1,29	14,74	-2,98	14,14	-13,73	-57,6
4 CD	21,46	68,70	5,99	5,51	-1,54	0,65	5,31	4,11	55,26	68,31
5 CD	-29,28	-16,34	-6,85	-4,07	10,64	6,13	-6,46	-10,60	-17,74	9,13
6 CD	1,13	15,58	17,24	5,35	6,88	4,38	0,05	-5,06	11,84	78,22

Fonte: Da autora (2022).

Durante séculos, selecionava-se germoplasma de milho para aumentar a produtividade das culturas. Atualmente, inúmeras características agronômicas desejáveis são selecionadas pelos melhoristas, tais como alto rendimento de grãos, resistência a doenças e composição

química dos grãos. Contudo, as características de qualidade fisiológicas das sementes dos genótipos selecionados, geralmente não são avaliadas (GOGGI *et al.*, 2008).

A qualidade das sementes é um fator crítico que afeta o desempenho inicial e o crescimento das culturas. Desta forma, neste trabalho, a seleção dos genótipos foi realizada com base na produtividade, sendo possível avaliar a resposta correlacionada.

As estimativas de resposta correlacionada apresentadas na Tabela 10, permitem avaliar o comportamento dos híbridos, para os diferentes caracteres, considerando a seleção realizada para produtividade de grãos. A partir dos resultados, é possível observar que uma vez selecionados os tratamentos mais produtivos, ocorreu também um incremento nos valores de germinação tanto para a população AB quanto CD.

Tabela 10 - Estimativa de resposta correlacionada para seleção quanto à produtividade (IS 20%), para os caracteres germinação aos quatro dias (G4.), germinação aos sete dias (G7.), vigor pelo teste frio (VF.), índice de velocidade de emergência (IVE) e razão do comprimento da raiz pelo comprimento da parte aérea através do GroundEye® (R/A.). Dados referentes as populações de milho A, B, C e D, no Laboratório de Análises de Sementes- UFLA.

POPULAÇÃO	G4.	G7.	VF.	R/A.	IVE
AB	1,28	0,37	-2,62	1,67	0,00
CD	5,27	0,07	0,63	0,65	-0,07

Fonte: Da autora (2022).

Para a população CD, observa-se um aumento na porcentagem de vigor pelo teste de frio ao selecionar com base na produtividade. Por seu turno, na população AB, o mesmo caráter assume valores negativos, isto é, os tratamentos com maior potencial produtivo denotam menor percentual de vigor. Vale ressaltar que o incremento dos caracteres mensurados dependerá do ciclo seletivo ao qual a população melhorada se encontra.

Desta forma, os resultados do presente estudo evidenciam que existe resposta correlacionada para qualidade fisiológica na seleção devido à produtividade de grãos, assim como os resultados obtidos por Monteiro *et al.* (2021) em que foi possível observar que, uma vez selecionadas as progênies de soja mais produtivas, para todas as intensidades de seleção, ocorreu também um incremento nas magnitudes de germinação, comprimento de radícula, comprimento de hipocótilo, vigor, potencial germinativo, índice de velocidade de emergência e porcentagem de emergência.

5 CONCLUSÃO

Existe variabilidade genética entre os parentais e os híbridos bem como nas populações estudadas para os atributos da produtividade de grãos e qualidade fisiológica, sendo possível realizar a seleção de genótipos superiores.

A resposta correlacionada denota que, de maneira geral, híbridos mais produtivos apresentam melhor qualidade fisiológica de sementes.

Quanto maior o número de ciclos seletivos e de recombinação, em média maior será a heterose para os caracteres produtividade de grãos e germinação das sementes

REFERÊNCIAS

- ABREU, V. M. *et al.* Combining ability and heterosis of maize genotypes under water stress during seed germination and seedling emergence. **Crop Science**, [s.l.], v. 59, n. 1, p. 33–43, 2019.
- ALVARENGA, R. O.; MARCOS-FILHO, J.; JUNIOR, F. G. G. Avaliação do vigor de sementes de milho superdoce por meio da análise computadorizada de imagens de plântulas. **Revista Brasileira de Sementes**, [s.l.], v. 34, n. 3, p. 488–494, 2012.
- ALVES, N. B. *et al.* Evaluation of progenies from the fifth reciprocal recurrent selection cycle in maize. **Genetics and Molecular Research**, [s.l.], v. 14, n. 3, p. 8236-8243, 2015.
- ANDRADE, D. B. de. **Sistema de análise de sementes (SAS) na detecção de misturas varietais e de sementes esverdeadas em soja**. 2014. 79 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia Sementes) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- ANDRADE, R. V. de *et al.* Qualidade fisiológica das sementes do milho híbrido simples HS 200 em relação ao tamanho. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 25, n. 3, p. 576-582, 2001.
- ABRASEM. Associação Brasileira de Sementes e MUDAS. **Levantamento estatístico**. Disponível em: <http://www.abrasem.com.br/category/estatisticas/#>. Acesso em: 12 nov. 2021.
- AOSA. Association of Official Seed Analysts. **Seed vigor testing handbook**. Lincoln, 2009. 105 p. (Contribution, 32).
- BARETTA, D. *et al.* Path analysis for morphological characters and grain yield of maize hybrids. **Australian Journal of Crop Science**, [s.l.], v. 10, n. 12, p. 1655–1661, 2016.
- BARETTA, D. *et al.* Heterosis and genetic distance in intervarietal corn hybrids. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 54, p. 1–10, 2019.
- BARROS, A. S. R. *et al.* Teste de frio. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap. 5. p. 1-5.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. 2nd ed. Woodbury: Stemma, 2010. 400 p.
- BERTAN, I. *et al.* Efeitos da heterose e endogamia em caracteres de importância agrônômica em trigo. **Revista Ceres**, [s.l.], v. 56, n. 6, p. 753–763, 2009.
- BIGNOTTO, E. A.; RAMALHO, M. A. P.; RIBEIRO, P. H. E. Efeito da seleção gamética no desempenho do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l.], v. 2, n. 2, 2003.
- BITTENCOURT, S. R. M. de *et al.* Metodologia alternativa para condução do teste de envelhecimento acelerado em sementes de milho. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 42, n. 8, p. 1360-1365, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Padrões para produção e comercialização de sementes de milho cultivares híbrida**. 2013. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/padrees_milho.pdf. Acesso em: 12 nov. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. 1 ed. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BRITO, C. D. *et al.* Comportamento de sementes de *Jatropha curcas* L. submetidas a estresse osmótico: Germinação e atividade do ciclo celular. **Acta Scientiarum - Agronomy**, [s.l.], v. 37, n. 3, p. 279-287, 2015.

CÂMARA, T. M. M. *et al.* Genetic parameters of drought tolerance related traits in tropical maize. **Bragantia**, [s.l.], v. 66, n. 4, p. 595–603, 2007.

CARDOSO, G.A. **Progresso genético e análise de trilha na seleção recorrente em milho**. 2018. 84 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, 2018.

CARGNELUTTI FILHO, A. C. *et al.* Genetic variability and linear relationships between plant architecture and maize grain yield. **Ciencia Rural**, [s.l.], v. 50, n. 10, p. 1–12, 2020.

CARNIMEO, E. S. G. *et al.* Principal component analysis for selection of superior maize genotypes. **Cientifica**, [s.l.], v. 48, n. 4, p. 357–362, 2020.

CARVALHO, N. M. de.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CASTAN, D. O. C.; GOMES-JUNIOR, F. G.; MARCOS-FILHO, J. Vigor-S, a new system for evaluating the physiological potential of maize seeds. **Scientia Agricola**, [s.l.]v. 75, n. 2, p. 167–172, 2018.

CATÃO, H. C. R. M. *et al.* Qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de milho crioulo produzidas no norte de Minas Gerais. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 40, n. 10, p. 2060–2066, 2010.

CERVANTES-ORTIZ, F. *et al.* Aptitud combinatoria general y específica en la calidad de semilla de líneas S3 de maíz. **Revista Fitotecnia Mexicana**, [s.l.], v. 39, n. 3, p. 259–268, 2016.

CHASSAIGNE-RICCIULLI, A. A. *et al.* Development of seed production technology of cimmyt tropical single cross maize hybrids. **Agriculture (Switzerland)**, [s.l.], v. 10, n. 7, p. 1–12, 2020.

CHEN, Z. *et al.* Effects of Reciprocal Recurrent Selection on Grain Yield in Two Tropical-Temperate Maize Synthetic Populations Tuxpeno-Reid and Suwan-Lancaster. **American Journal of Plant Sciences**, [s.l.], v. 10, n. 02, p. 298–308, 2019.

CHENG, X. *et al.* Dynamic quantitative trait loci analysis of seed reserve utilization during three germination stages in rice. **PLoS ONE**, [s.l.], v. 8, n. 11, 2013.

- COMSTOCK, R. E.; ROBINSON, H. F.; HARVEY, P. H. A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. **Agronomy Journal**, Madison, v. 41, n. 8, p. 360-367, 1949.
- COPELAND, L. O.; McDONALD, M. B. Principles of seed science and technology. 3. ed. New York: Chapman & Hall, 1995. 409 p.
- DIAS, M. A. N.; MONDO, V. H. V.; CICERO, S. M. Vigor de sementes de milho associado à mato-competição. Maize seed vigor and weed competition. **Revista Brasileira de Sementes**, [s.l.], v. 32, n. 2, p. 93-101, 2010.
- EDWARDS, J. Changes in plant morphology in response to recurrent selection in the Iowa Stiff Stalk Synthetic maize population. **Crop Science, Madison**, [s.l.], v. 51, p. 2352-2361, 2011.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2.ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. v. 1. 360 p.
- FARIA, V. R. *et al.* Seleção recorrente recíproca na obtenção de híbridos interpopulacionais de milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [s.l.], v. 43, n. 12, p. 1749-1755, 2008.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Computer Analysis System To Fixed Effects Split Plot Type Designs. **Revista Brasileira De Biometria**, [s.l.], v. 37, n. 4, p. 529, 2019.
- FINCH-SAVAGE, W. E.; BASSEL, G. W. Seed vigour and crop establishment: Extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, [s.l.], v. 67, n. 3, p. 567-591, 2016.
- FORNAESIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 576 p.
- FUJIMOTO, R. *et al.* Recent research on the mechanism of heterosis is important for crop and vegetable breeding systems. **Breeding Science**, [s.l.], v. 158, p. 145-158, 2018.
- GOGGI, A. S. *et al.* Seed quality assurance in maize breeding programs: Tests to explain variations in maize inbreds and populations. **Agronomy Journal**, [s.l.], v. 100, n. 2, p. 337-343, 2008.
- GOMES, L. S. *et al.* Resistência ao acamamento de plantas e ao quebraamento do colmo em milho tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 45, n. 2, p. 140-145, 2010.
- GONDIM, T. C. DE O. *et al.* Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho-crioulo sob estresse causado por baixo nível de nitrogênio. **Revista Ceres**, [s.l.], v. 53, n. 307, p. 413-417, 2006.
- GONZÁLEZ, R. F. *et al.* Envejecimiento acelerado sobre la calidad de semillas de maíz para producir germinados para forraje alternativo. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, [s.l.], n. 8, p. 1487-1493, 2014.
- GOODMAN, M. M.; SMITH, J. S. C. Botânica. *In*: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Org.). **Melhoramento e produção do milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, p. 41-78.

- HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J. Recurrent selection methods to improve germplasm in maize. **Maydica**, [s.l.], v. 57, n. 3–4, p. 266–283, 2012.
- HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 3. ed. New York: Springer, 2010. 663 p.
- HALLAUER, A.R.; CARENA, M.J.; MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 3. ed. Berlin: Springer-Verlag, 2010. v.1. 500 p.
- HALLAUER, A. R.; EBERHART, S. A. Reciprocal full-sib selection. **Crop Science**, Madison, v. 10, n. 3, p. 315-316, 1970.
- HUGHES, T. E.; LANGDALE, J. A. Scarecrow gene function is required for photosynthetic development in maize. **Plant Direct**, [s.l.], v. 4, n. 9, p. 1–10, 2020.
- ISTA. International Seed Testing Association. **Handbook of vigour test methods**. 3. ed. Zürich, 1995. 117 p.
- JAUNEAU, A. *et al.* Anatomy of leaf apical hydathodes in four monocotyledon plants of economic and academic relevance. **PloS one**, [s.l.], v. 15, n. 9, p. e0232566, 2020.
- JIAO, Y. *et al.* Genome-wide genetic changes during modern breeding of maize. **Nature Genetics**, [s.l.], v. 44, n. 7, p. 812–815, 2012.
- JIFAR, H. *et al.* Semi-dwarf tef lines for high seed yield and lodging tolerance in Central Ethiopia. **African Crop Science Journal**, [s.l.], v. 25, n. 4, p. 419, 2017.
- JOSÉ, S. C. B. R. *et al.* Características físicas do pericarpo de sementes de milho associadas. **Revista Brasileira de Sementes**, [s.l.], v. 27, p. 125-131, 2005.
- KHAMPHASAN, P. *et al.* Combining ability and heterosis for agronomic traits, husk and cob pigment concentration of maize. **Agriculture (Switzerland)**, [s.l.], v. 10, n. 11, p. 1-19, 2020.
- KOLAWOLE, A. O. *et al.* Genetic advance in grain yield and other traits in two tropical maize composites developed via reciprocal recurrent selection. **Crop Science**, [s.l.], v. 58, n. 6, p. 2360–2369, 2018.
- KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES. 1999. 5-13 p.
- LI, S.Y.; MA, W.; PENG, J. Y.; CHEN, Z.M. Study on Yield Loss of Summer Maize Due to Lodging at the Big Flare Stage and Grain Filling Stage. **Scientia Agricultura Sinica**, [s.l.], v. 48, n. 19, 2015.
- LIU, W. *et al.* Spatial variation of maize height morphological traits for the same cultivars at a large agroecological scale. **European Journal of Agronomy**, [s.l.], v. 130, n. July, p. 126349, 2021.

- MACHADO, F. H. B. *et al.* Physiological quality of maize seeds produced under soil water deficit conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 24, p. 451–456, 2020.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination – aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, [s.l.], v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.
- MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, A. L. P.; LIMA, L. B. DE. Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo a análise computadorizada de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, [s.l.], v. 31, n. 1, p. 102–112, 2009.
- MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. *In*: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 1-21.
- MARTINS, E. S. *et al.* In vitro pollen viability of maize cultivars at different times of collection. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 47, n. 2, p. 1–8, 2017.
- MATEI, G. *et al.* Methods of analysis and number of replicates for trials with large numbers of soybean genotypes. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 47, p. 1–7, 2017.
- MEDEIROS, A. D. *et al.* Vigor of maize seeds determined by a free image analysis system. **Revista Ciencia Agronomica**, [s.l.], v. 50, n. 4, p. 616–624, 2019.
- MONDO, V. H. V. *et al.* Seed vigor and initial growth of corn crop. **Journal of Seed Science**, [s.l.], v. 35, n. 1, p. 64-69, 2013.
- MONTEIRO, F. F. *et al.* Breeding for yield and seed quality in soybean. **Euphytica**, [s.l.], v. 217, n. 12, 2021.
- MORENO, K.A.A. **Expressão de genes relacionados com a qualidade fisiológica de sementes de soja**. 2016. 68 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia/ Sementes) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2016.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. *In*: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.49-85.
- NARDINO, M. *et al.* Coefficient of variation: a new approach for the study in maize experiments. **Revista Brasileira Biomass**, [s.l.], v. 38, p. 185-206, 2020.
- NASCIMENTO JÚNIOR, I. R.; MÔRO, G. V.; MÔRO, F. V. Relationship between the agronomic and anatomical characteristics of the leaf with a view to indirect selection in maize plants1. **Revista Ciencia Agronomica**, [s.l.], v. 52, n. 3, p. 21–28, 2021.
- NAVARRO, M.; FEBLES, G.; HERRERA, R. S. Vigor: Essential element for seed quality. **Revista Cubana de Ciencia Agrícola**, [s.l.], v. 49, n. 4, p. 447–458, 2015.
- NERLING, D.; COELHO, C. M. M.; BRÜMMER, A. Biochemical profiling and its role in physiological quality of maize seeds. **Journal of Seed Science**, [s.l.], v. 40, n. 1, p. 7–15, 2018.

NGUGI, K. *et al.* Anthesis to Silking Interval Usefulness in Developing Drought Tolerant Maize. **Journal of Renewable Agriculture**, [s.l.], v. 1, n. 5, p. 84-90, 2013.

NOLI, E. *et al.* Suitability of three vigour test procedures to predict field performance of early sown maize seed. **Seed Science and Technology**, [s.l.], v. 36, n. 1, p. 168–176, 2008.

OHLSON, O. C *et al.* Teste de envelhecimento acelerado em sementes de trigo. **Revista Brasileira de Sementes**, [s.l.], v. 32, n.4, p.118-124, 2010.

ORTIZ-TORRES, E. *et al.* Efecto de la dispersión de polen en la producción de semilla de maíz, en Texcoco, México. **Agronomía Mesoamericana**, [s.l.], v. 21, n. 2, p. 289–297, 2010.

PATERNIANI, E. (Ed.). **Melhoramento e produção do milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1980. 650 p.

PATERNIANI, E.; VENCOVSKY, R. Reciprocal recurrent selection in maize (*Zea mays* L.) based on testcross of half-sib families. **Maydica**, Bergamo, v. 22, n. 2, p. 141-152, 1977.

PÉREZ DE LA CERDA, F. de J. *et al.* Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. **Agricultura Técnica en México**, [s.l.], v. 33, n. 1, p. 53–61, 2007.

PIAS, O. H. de C. *et al.* Componentes de rendimento e produtividade de híbridos de milho em função de doses de NPK e de deficit hídrico em estádios fenológicos críticos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, p. 422–432, 2017.

PINTO, C. A. G. *et al.* Image analysis in the evaluation of the physiological potential of maize seeds. **Revista Ciencia Agronomica**, [s.l.], v. 46, n. 2, p. 319–328, 2015.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: Ministério da Agricultura AGIPLAN, 1977. 289 p.

PRAZERES, C. S.; COELHO, C. M. M. Heterosis for physiological quality of seeds to obtain hybrid maize. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l.], v. 15, n. 1, p. 124–133, 2016.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **A Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 326 p.

RAMALHO, M. A. P. *et al.* **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. v. 1. 365 p.

RAMALHO, M. A. P.; MARQUES, T. L.; LEMOS, R. D. C. Plant breeding in Brazil: Retrospective of the past 50 years. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s.l.], v. 21, n. Special Issue, p. 1-11, 2021.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017.

REIS, M. C. *et al.* Progresso genético com a seleção recorrente recíproca para híbridos interpopulacionais de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 44, n. 12, p. 1667-1672, 2009.

ROSENTAL, L.; NONOGAKI, H.; FAIT, A. Activation and regulation of primary metabolism during seed germination. **Seed Science Research**, [s.l.], v. 24, n. 1, p. 1-15, 2014.

SAMPOUX, J. P.; GIRAUD, H.; LITRICO, I. Which recurrent selection scheme to improve mixtures of crop species? Theoretical expectations. **G3: Genes, Genomes, Genetics**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 89-107, 2020.

SANGOI, L. *et al.* Perfilhamento e prolificidade como características estabilizadoras do rendimento de grãos do milho, em diferentes densidades. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l.], v. 9, p. 254–265, 2010.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A Cluster Analysis Method for Grouping Means in the Analysis of Variance. **Biometrics**, [s.l.], v. 30, n. 3, p. 507, 1974.

SENA, D. V. dos A.; ALVES, E. U.; DE MEDEIROS, D. S. Vigor de sementes de milho cv. ‘sertanejo’ por testes baseados no desempenho de plântulas. **Ciencia Rural**, [s.l.], v. 45, n. 11, p. 1910–1916, 2015.

SILVA NETA, I. *et al.* Gene expression and genetic control to cold tolerance during maize seed germination. **BMC Plant Biology**, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 1–14, 2020.

SILVA, N. O. *et al.* Genetic control of traits associated with maize seed quality. **Maydica**, [s.l.], v. 53, n. 1, p. 55-62, 2008.

SILVA, V. N.; CICERO, S. M. Avaliação do vigor de sementes de tomate durante o armazenamento por meio de análise computadorizada de imagens de plântulas. **Ciências Agrárias**, [s.l.], v. 35, 2014.

SILVA, V. N.; CICERO, S. M. Análise de imagens de plântulas para avaliação do potencial fisiológico de sementes de berinjela. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 32, n. 2, p. 145–151, 2014.

SIMONI, F. de; COSTA, R. S.; GEROLINETO, E. Sementes de Sorghum bicolor L. - Gramineae, submetidas ao estresse hídrico simulado com PEG (6000). **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 188–192, 2011.

SOUZA JUNIOR, C. L. de. Cultivar development of allogamous crops. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s.l.], v. 11, n. SUPPL., p. 8–15, 2011.

SOUZA JÚNIOR, C. L. Melhoramento de espécies alógamas. *In*: NASS, L. L. *et al.* **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação-MT, 2001. p. 159-199.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. *In*: PATERNIANI, E. (Coord.). **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1978. p. 122-201.

VENTURA, L. *et al.* Understanding the molecular pathways associated with seed vigor. **Plant Physiology and Biochemistry**, [s.l.], v. 60, p. 196–206, 2012.

VIEIRA, P. M. H. *et al.* Number of progenies and repetitions for reciprocal full-sib recurrent selection programs in maize. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 45, n. 1981-1829, 2021.

WANG, H.; QIU *et al.* Heterotic loci identified for plant height and ear height using two CSSLs test populations in maize. **Journal of Integrative Agriculture**, [s.l.], v. 15, n. 12, p. 2726, 2016.

XUE, J. *et al.* Research progress on reduced lodging of high-yield and -density maize. **Journal of Integrative Agriculture**, [s.l.], v. 16, n. 12, p. 2717–2725, 2017.

YONG, H. *et al.* Breeding potential of inbred lines derived from five maize (*Zea mays* L.) populations. **Euphytica**, [s.l.], v. 1, n. 215, p. 1–12, 2019.

ZALUSKI, W. L. *et al.* Yield related key traits in the selection of super sweetcorn hybrids. **Bragantia**, [s.l.], v. 80, 2021.

ZHOU, Z. *et al.* Dissecting the genetic basis underlying combining ability of plant height related traits in maize. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 9, n. August, p. 1-13, 2018.