



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI

PRÓ REITORIA DE ENSINO

ENGENHARIA AGRONÔMICA

LUCIANO JOSÉ LOURENÇONI

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS DE MILHO
DERIVADOS DE LINHAGENS DUPLO-HAPLÓIDES COMPARADO
COM HÍBRIDOS CONVENCIONAIS**

SETE LAGOAS – MG

Abril de 2021

LUCIANO JOSÉ LOURENÇONI

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS DE MILHO DERIVADOS
DE LINHAGENS DUPLO-HAPLÓIDES COMPARADO COM HÍBRIDOS
CONVENCIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São João Del Rei como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora:

Nádia Nardely Lacerda Durães Parrella – UFSJ - CSL

Co-Orientador:

Roberto dos Santos Trindade – Embrapa Milho e Sorgo

SETE LAGOAS – MG

Abril de 2021

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS DE MILHO DERIVADOS DE
LINHAGENS DUPLO-HAPLOIDES COMPARADO COM HÍBRIDOS CONVENCIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São João Del Rei como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Sete Lagoas, 19 de abril de 2021.

Banca Examinadora:

Dr. Roberto dos Santos Trindade (Embrapa Milho e Sorgo)

Msc. Luana Cristina Alves Ribeiro - UFSJ

Prof. Dra. Nádia Nardely Lacerda Durães Parrella (UFSJ)

**SETE LAGOAS – MG
Abril de 2021**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder força e coragem para buscar e alcançar coisas inimagináveis, por me conceder uma família presente, cuidadosa me fornecendo auxílio emocional e financeiro, mostrando que através da informação conseguimos chegar em patamares melhores.

A minha república Abate Caverna, pelos bons momentos vividos juntos, pela acolhida, pela irmandade, pelas noites e noites viradas de estudo e aprendizado.

À Embrapa Milho e Sorgo por me proporcionar amparo científico e acadêmico, sempre estando à disposição de fornecer conhecimento, principalmente ao setor de Melhoramento de Milho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	Erro! Indicador não definido. 12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
4. CONCLUSÕES	22
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS DE MILHO DERIVADOS DE LINHAGENS DUPLO-HAPLOIDES COMPARADO COM HÍBRIDOS CONVENCIONAIS

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi utilizar a metodologia do dialelo parcial para comparar linhagens duplo-haplóides de milho com linhagens obtidas por métodos tradicionais como genitoras, com base na capacidade geral e específica de combinação e no desempenho agronômico dos híbridos obtidos a partir das linhagens DHs. A obtenção de híbridos para teste em campo se deu por cruzamento de cinco linhagens duplo-haploides (DH1700402, DH1700358, DH1700356, DH1700388 e DH1700389), utilizados como genitores femininos, com os testadores CMS M035, CMS M048, CMS M036 e 5702955 utilizados como genitores masculinos, sendo as linhagens CMS M036 e 5702955 do grupo heterótico Dentado, e CMS M035 e 5100290-11, do grupo heterótico Flint. Os cruzamentos se deram em lotes isolados, com despendoamento de todas as plantas dos genitores femininos para que todo o pólen viesse somente das linhagens testadoras. Dos lotes isolados foram obtidos 20 híbridos a partir de linhagens duplo-haploides, os quais foram avaliados juntamente com outros genótipos, a saber: 8 híbridos experimentais, que já foram avaliados em ensaios de VCU promovidos pela Embrapa, estando em fase final de registro, e 8 híbridos comerciais, registrados pela Embrapa e de outras empresas. Ao final do experimento, foram avaliados os dados de estande final (ST = número total de plantas por parcela), tombamento e quebramento (TOMB = número de plantas tombadas e quebradas por parcela), altura de planta (AP = altura média das plantas da parcela, medida da base colmo até à inserção da folha bandeira, em cm), altura de inserção da espiga (AE = altura média da inserção da primeira espiga das plantas da parcela, medida da base colmo até à inserção da primeira espiga, em cm), umidade de grãos na colheita (= UG em %) e peso total de grãos (= PROD, obtido pela conversão de quilos por parcela para toneladas por hectare, padronizado a 13% de umidade dos grãos). A colheita foi realizada com uso de colheitadeira de parcelas, colhendo-se 2 fileiras por vez e se tomando automaticamente a umidade de grãos e o peso por parcela. Para análise dos dados, efetuou-se análise de variância, em que foram desdobrados os graus de liberdade de genótipo para contrastar a variância dos híbridos comerciais e experimentais (HCs) com os híbridos derivados de linhagens duplo-haploides (DHs). Efetuou-se também a comparação entre médias via teste de Tukey a 5% de probabilidade. Por fim, para avaliação do desempenho das linhagens duplo-haploides em cruzamento com testadores Flint e Dent, com base nos dados derivados da análise de variância para produção, foi realizada a decomposição das somas de quadrados dos tratamentos em capacidade geral e específica de combinação. Para essa decomposição, foi adotado o modelo de Griffing (1956) adaptado aos dialelos parciais, sem a inclusão dos parentais. Para todas as análises, utilizou-se o software Genes (Cruz, 2001). Os híbridos derivados de linhagens duplo-haploides apresentaram produtividade e estande final significativamente inferior a híbridos comerciais e pré-

comerciais, derivados de linhagens convencionais. Por outro lado, a altura de planta e a inserção e espiga foram maiores nos híbridos derivados de linhagens DHs. Porém, alguns híbridos, como o híbrido DH1800007. Apresentaram produtividade de grãos superior as testemunhas comerciais e experimentais. Os resultados obtidos indicam que híbridos derivados de linhagens duplo-haploides, além, de apresentam vantagens, como acelerar o tempo de obtenção de novas cultivares, possibilitam o desenvolvimento de híbridos com desempenho agrônômico superior

Palavras-chave: *Zea mays L*, Duplo-haploides, Dialelo parcial.

AGRONOMIC PERFORMANCE OF MAIZE HYBRIDS DERIVED FROM DOUBLE-HAPLOID LINES COMPARED TO CONVENTIONAL HYBRIDS

ABSTRACT - The objective of this work was to use the partial diallel methodology to compare double-haploid strains of corn with strains obtained by traditional methods as parents, based on the general and specific combining capacity and the agronomic performance of the hybrids obtained from the DHs strains. Hybrids for field testing were obtained by crossing five double-haploid strains (DH1700402, DH1700358, DH1700356, DH1700388 and DH1700389), used as female parents, with the CMS M035, CMS M048, CMS M036 and 5702955 testers used as male parents, being the CMS M036 and 5702955 strains of the heterotic group Dentado, and CMS M035 and 5100290-11, of the heterotic group Flint. The crossings took place in isolated lots, with all the plants of the female parents stripped so that all the pollen came only from the test lines. From the isolated lots, 20 hybrids were obtained from double-haploid strains, which were evaluated together with other genotypes, namely: 8 experimental hybrids, which have already been evaluated in VCU tests promoted by Embrapa, being in the final stage of registration, and 8 commercial hybrids, registered by Embrapa and other companies. At the end of the experiment, the data on the final stand (ST = total number of plants per plot), tipping and breaking (TOMB = number of fallen and broken plants per plot), plant height (AP = average plant height of the plot, measured from the stalk base to the insertion of the flag leaf, in cm), height of ear insertion (AE = average height of the insertion of the first ear of the plants in the plot, measured from the stalk base to the insertion of the first ear, in cm), grain moisture at harvest (= UG in%) and total grain weight (= PROD, obtained by converting kilograms per parcel to tons per hectare, standardized at 13% grain moisture). Harvesting was performed using a plot harvester, harvesting 2 rows at a time and automatically taking grain moisture and weight per plot. For data analysis, analysis of variance was performed, in which the degrees of freedom of genotype were deployed to contrast the variance of commercial and experimental hybrids (HCs) with hybrids derived from double-haploid strains (DHs). A comparison was also made between means using the Tukey test at 5% probability. Finally, to evaluate the performance of the double-haploid strains in crossing with Flint and Dent testers, based on the data derived from the analysis of variance for production, the decomposition of the sums of squares of the treatments into general and specific combining capacity was performed. For this decomposition, the Griffing model (1956) adapted to partial diallel was adopted, without the inclusion of parents. For all analyzes, the Genes software was used (Cruz, 2001). Hybrids derived from double-haploid strains showed significantly lower productivity and final stand than commercial and pre-commercial hybrids, derived from conventional strains. On the other hand, plant height and insertion and ear were higher in hybrids derived from DH lines. However, some hybrids, such as the DH1800007 hybrid. Presented grain yields superior to commercial and experimental controls. The results obtained indicate that hybrids derived from double-haploid strains,

in addition to presenting advantages, such as accelerating the time to obtain new cultivars, enable the development of hybrids with superior agronomic performance

Keywords: *Zea mays* L, Double-haploid, partial diallel.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea Mays* L.) é cultivado em várias regiões do mundo, ocupando uma área em torno de 160 milhões de hectares (SILVA et al., 2017). A cultura do milho pertence a ordem das gramíneas, família poacea, gênero *zea*, subsp. *mays* (GOODMAN, 1987; PATERNIANI & CAMPOS, 1999). Relata-se que o cultivo dessa espécie ocorre há mais de 8000 anos. As evidências demonstram que, os primeiros cultivos e, posteriormente, a domesticação do milho, iniciaram por povos indígenas americanos, situados na América Central, mais especificamente, no México (PRASANNA, 2012; ABIMILHO, 2015).

O Brasil, país com alto potencial de produção de alimentos do mundo, tem se destacado na produção de milho. O cultivo do milho, no Brasil, ocorre em duas épocas distintas, sendo o plantio de 1ª safra ou safra de verão realizado entre os meses de setembro e novembro, período em que há maior ocorrência de chuva. Posteriormente inicia-se o plantio da 2ª safra também chamada de sequeiro ou safra de inverno cujos plantios são realizados nos meses de janeiro a março em sucessão a cultura de verão (IBGE, 2017; CONAB, 2021).

Os avanços científicos e a adoção de novas tecnologias no setor agrícola, como a utilização de cultivares com alto potencial genético, atrelada aos avanços ocorridos na agricultura permitiram melhorar o manejo do solo (calagem, adubação) e o controle de pragas, doenças e plantas invasoras favorecendo o desenvolvimento da cultura do milho (YAMADA & ABDALLA, 2006; GRASSINI et al., 2015).

No melhoramento de milho, o insumo mais importante para o desenvolvimento de novas cultivares são as linhagens (Trindade et al., 2019). Também chamadas de linhas endogâmicas ou linhas puras, estes genótipos possuem a maior parte de seus locos em homozigose, servindo como veículo para introgressão de características de interesse, e para obtenção de híbridos superiores, via expressão da heterose, variedades sintéticas e outros tipos de cultivares (GUIMARÃES et al., 2018).

Em milho, são realizados cruzamentos entre linhagens de grupos heteróticos distintos, visando aumentar a heterose por divergência genética. Os grupos heteróticos mais utilizados em milho para cruzamento no Brasil são o grupo Dent e o grupo Flint, oriundos das variedades de polinização aberta Tuxpeno e Cateto, respectivamente (PATERNIANI & CAMPOS, 1999).

A geração de novas cultivares de milho é realizada em campos de multiplicação de sementes, em processos que incluem autofecundações, cruzamentos manuais e cruzamentos em campos isolados, visando a obtenção de linhagens, de híbridos e de sintéticos. Na obtenção tradicional de linhagens de milho, consecutivas autofecundações são realizadas, a fim de atingir a completa homozigose da planta, o que leva em torno de 7 a 8 gerações. A homozigose aumenta a uma taxa de 50% a cada geração de autofecundação, o que leva a necessidade de cerca de sete cruzamentos de

uma planta com ela mesma para extração de linhagem. Esse processo torna-se complexo por ser laborioso, oneroso e demandar muitos ciclos.

No aceleração da obtenção de linhagens e conseqüentemente de cultivares de milho processo podem ser utilizadas técnicas auxiliares ao melhoramento, como a seleção assistida por marcadores (SAM) e a tecnologia de produção de linhagens duplo-haplóides (BORÉM & MIRANDA, 2013). A tecnologia de linhagens duplo-haplóides (DHs) é uma metodologia que visa à redução de tempo na obtenção de linhagens homozigotas, baseado na geração de indivíduos haplóides e posterior duplicação de seu genoma, por via espontânea ou artificial (CHASE, 1952; PRIGGE & MELCHINGER, 2011).

Para obtenção de haplóides em milho, o método mais utilizado é o protocolo *in vivo* (PRIGGE & MELCHINGER, 2011), que consiste no cruzamento de populações-fonte com indutores de haploidia, que são genótipos que possuem a capacidade de induzir a formação de sementes com embriões haplóides de constituição baseada nos genes dos genótipos-fonte. Após duplicação cromossômica, estas plantas são autofecundadas e passam a ser chamadas de linhagens duplo-haplóides, uma vez que, para cada cromossomo que a planta haplóide possuía anteriormente, passe a ter uma cópia exata, o que lhe confere completa homozigose e o mesmo número de cromossomos de uma planta diplóide (PRIGGE; MELCHINGER, 2011; TRINDADE et al., 2017).

Esta técnica reduz em um ano e meio (3 gerações) a obtenção de linhagens homozigóticas, possibilita a obtenção de linhagens com uniformidade e estabilidade genética, com o adicional de resultar em grande variabilidade entre as progênies obtidas, tornando a seleção entre famílias mais eficaz. Neste contexto, é necessário a avaliação das linhagens DHs como parentais de híbridos, como acontece com qualquer linhagem.

No processo de seleção de uma linhagem, o essencial é que os genótipos escolhidos tenham alta frequência de alelos favoráveis para o objetivo do programa (VENCOVSKY 1987, HALLAUER & MIRANDA FILHO 1988, RAMALHO et al. 1993). Entretanto, em milho, o processo de aumento de endogamia promove redução do vigor em alógamas, sendo necessário a identificação de superioridade agrônômica não *per se*, mas via cruzamento, a fim de verificar o vigor manifestado pelo efeito da heterose e avaliar a capacidade combinatória da linhagem por meio do desempenho agrônômico dos híbridos obtidos (ARAÚJO, 2014).

A capacidade geral de combinação (CGC), consiste na resposta média de um genitor em uma série de cruzamentos, está associada aos efeitos aditivos dos alelos. Já a capacidade específica de combinação (CEC) representa o desvio do comportamento esperado de um dado genótipo, tomando como base as capacidades gerais de combinação de seus parentais, se relacionando aos efeitos não-aditivos de dominância e epistasia (VENCOVSKY 1987, HALLAUER & MIRANDA FILHO 1988, RAMALHO et al. 1993).

Existe uma série de procedimentos para avaliar a capacidade combinatória, em um grupo de genótipos, visando à obtenção de indivíduos capazes de propiciarem ganhos de seleção em gerações avançadas (SILVA et al., 2000; VIANA, 2000; FERREIRA et al., 2004). Dentre os procedimentos que podem ser utilizados, há a metodologia de Topcross, que é o cruzamento com testadores comuns e a avaliação do desempenho agrônômico dos híbridos obtidos, e os cruzamentos dialélicos, que permitem a identificação de genitores com base em seus próprios valores genéticos e, principalmente, na capacidade de se combinarem em híbridos que produzem populações segregantes promissoras (RAMALHO et al., 1993; VENCOVSKY & BARRIGA, 1992; CRUZ et al., 2004).

Um dialelo consiste em um esquema de acasalamento para o cruzamento de um grupo de genitores, que podem ser linhagens, variedades, clones etc., resultando em um conjunto de $p(p-1)/2$ híbridos, que pode incluir, além dos respectivos pais, híbridos recíprocos e outras gerações relacionadas, retrocruzamentos, etc. (BORÉM & CAVASSIM, 1999; CRUZ et al., 2004). Na literatura, são citadas diferentes metodologias de análise dos cruzamentos dialélicos, envolvendo os dialelos balanceados, e os que abordam dialelos parciais, incluindo os circulantes (KEMPTHORNE & CURNOW, 1961), dialelos incompletos e dialelos desbalanceados (CRUZ et al., 2004).

Os dialelos parciais são um tipo de metodologia que envolve a avaliação de progênies dispostas em dois grupos, pertencentes ou não a um grupo comum, sendo as inferências feitas para cada grupo. Nos dialelos parciais, os progenitores de um grupo estão representados por números constantes, porém possíveis de serem diferentes do número de combinações híbridos em que estão representados os progenitores do outro grupo (CRUZ et al., 2014).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi utilizar a metodologia do dialelo parcial para comparar linhagens duplo-haplóides de milho com linhagens obtidas por métodos convencionais como genitoras, com base na capacidade geral e específica de combinação e no desempenho agrônômico dos híbridos obtidos a partir das linhagens DHs.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos pelo programa de melhoramento de milho da Embrapa Milho e Sorgo, em janeiro de 2019. O experimento foi conduzido na Embrapa Milho e Sorgo, no município de Sete Lagoas - MG, região central de Minas Gerais.

Os duplo-haplóides avaliados foram derivados de campo de indução a duplo-haploidia implantado na safra 2017/18, em que as populações-fonte foram híbridos F_1 obtidos pelos cruzamentos de linhagens-elite dentro do mesmo grupo heterótico. Após colheita do campo, procedeu-se a seleção de sementes haplóides em cada espiga e a duplicação cromossômica, para obtenção de duplo-haplóides de milho.

A obtenção de híbridos para teste em campo se deu por cruzamento de cinco linhagens duplo-haplóides (DH1700402, DH1700358, DH1700356, DH1700388 e DH1700389), utilizados como genitores femininos, com os testadores CMS M035, CMS M048, CMS M036 e 5702955 utilizados como genitores masculinos, sendo as linhagens CMS M036 e 5702955 do grupo heterótico Dentado, e CMS M035 e 5100290-11, do grupo heterótico Flint.

Os cruzamentos se deram em lotes isolados, com despendoamento de todos as plantas dos genitores femininos para que todo o pólen viesse somente das linhagens testadoras. Dos lotes isolados foram obtidos 20 híbridos a partir de linhagens duplo-haplóides, os quais foram avaliados juntamente com outros genótipos, a saber: 8 híbridos experimentais, que já foram avaliados em ensaios de VCU (Valores de cultivo e Uso) promovidos pela Embrapa, estando em fase final de registro, e 8 híbridos comerciais, registrados pela Embrapa e de outras empresas (Tabela 1).

Tabela 1. Relação de híbridos comerciais, experimentais e derivados de linhagens duplo-haplóides (DHs) avaliados no experimento.

Genótipo	Origem/Instituição
AG8061PRO2	AGROCERES
AG8088PRO2	AGROCERES
BRS1055	EMBRAPA – Híbrido comercial
BRS1060	EMBRAPA – Híbrido comercial
BRS2022	EMBRAPA – Híbrido comercial
BRS3035	EMBRAPA – Híbrido comercial
BRS3042	EMBRAPA – Híbrido comercial
DKB310PRO2	DEKALB
P30F35VYHR	Pioneer sementes
2B587Hx	Dow Agrosiences
1P2216	EMBRAPA – Híbrido experimental
1P2227	EMBRAPA – Híbrido experimental
1F640	EMBRAPA – Híbrido experimental
1P2214	EMBRAPA – Híbrido experimental
1O2106	EMBRAPA – Híbrido experimental
1L1411	EMBRAPA – Híbrido experimental
DH1800005	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800007	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800013	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800023	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800032	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800037	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800046	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800076	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800077	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800078	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800079	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800080	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800085	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs

DH1800086	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800112	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800116	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800117	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800118	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800119	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs
DH1800125	EMBRAPA – Híbrido derivado de DHs

O experimento foi delineado em blocos ao acaso (DBC), com duas repetições e parcelas de duas linhas, com os 36 tratamentos anteriormente descritos, totalizando 148 fileiras. O plantio do experimento ocorreu em janeiro de 2019, em área experimental na Embrapa Milho e Sorgo. O plantio foi efetuado de forma mecanizada, com uso de plantadeiras de parcelas, no espaçamento de 4,2m x 0,70, com densidade de plantio de 5 sementes/ metro linear. A adubação de plantio, de cobertura e todo o manejo efetuado seguiu as recomendações para a cultura do milho (COELHO, 2006) sendo: 450 kg ha¹ do fertilizante 8-28-16 totalizando (36 kg de N, 126 kg de P e 72 kg por hectare).

Foram utilizados herbicidas e fungicidas a fim de realizar o manejo sanitário da cultura do milho. Para o plantio, as sementes foram tratadas com fungicidas (Metalaxyl-M + Fludioxonil, e Thiram + Carboxin) conforme a Tabela 2. De forma preventiva, ocorreu uma aplicação dos fungicidas com os princípios ativos Azoxistrobina + Ciproconazol quando o milho apresentava 8 folhas formadas e utilizou os princípios ativos Atrazina, Tembotriona e Metomil quando a cultura do milho apresentasse 5 e 8 folhas. Na aplicação de cobertura utilizou 300 kg ha¹ de ureia, sendo 135 kg ha¹ de N, sendo parcelada em 2 vezes, nos estádios quatro e oito folhas completamente expandidas. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia, INMET a precipitação pluviométrica acumulada foi de 543,20 mm, entre o dia 01/01/2019 (Plantio), até a colheita de milho grão (25/07/2019), sendo que foram necessárias algumas irrigações suplementares de 30 mm nas semanas que não houve a ocorrências de chuvas.

Tabela 2. Manejo químico fitossanitário no pré e pós-plantio em sementes e na área experimental, bem como suas respectivas doses.

Dessecação			
Classe	Especificação	Concentração	Época
Herbicida	(Glifosato)	2 Kg ha ¹	Pré-plantio
Herbicida	(Atrazina + S-Metolacoloro)	4 L ha ¹	Pré-plantio
Tratamento de sementes			
Fungicida	(Metalaxyl-M + Fludioxonil)	125 mL 100kg ¹	Tratamento de sementes
Fungicida	(Thiram + Carboxin)	250 mL 100kg ¹	Tratamento de sementes
Manejo fitossanitário			
Herbicida	(Atrazina)	3 L há ¹	4 ^a folhas
Herbicida	(Tembotriona)	200 mL ha ¹	4 ^a folhas
Inseticida	(Metomil)	600 mL ha ⁻¹	5 ^a folhas

Ao final do experimento, em julho de 2019 foram avaliados os dados de estande final (ST = número total de plantas por parcela), tombamento e quebramento (TOMB = número de plantas tombadas e quebradas por parcela), altura de planta (AP = altura média das plantas da parcela, medida da base colmo até à inserção da folha bandeira, em cm), altura de inserção da espiga (AE = altura média da inserção da primeira espiga das plantas da parcela, medida da base colmo até à inserção da primeira espiga, em cm), umidade de grãos na colheita (= UG em %) e peso total de grãos (= PROD, obtido pela conversão de quilos por parcela para toneladas por hectare, padronizado a 13% de umidade dos grãos). A colheita foi realizada com uso de colheitadeira de parcelas, colhendo-se 2 fileiras por vez e se tomando automaticamente a umidade de grãos e o peso por parcela.

Para análise dos dados, primeiramente efetuou-se análise de variância, em que foram desdobrados os graus de liberdade de genótipo para contrastar a variância dos híbridos comerciais e experimentais (HCs) com os híbridos derivados de linhagens duplo-haplóides (DHs). Efetuou-se também a comparação entre médias via teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Por fim, para avaliação do desempenho das linhagens duplo-haplóides, em cruzamento com testadores Flint e Dent, com base nos dados derivados da análise de variância para produção, foi realizada a decomposição das somas de quadrados dos tratamentos em capacidade geral e específica de combinação. Para essa decomposição, foi adotado o modelo de GRIFFING (1956) adaptado aos dialelos parciais, sem a inclusão dos parentais. Para todas as análises, utilizou-se o software Genes (CRUZ, 2001).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito de genótipo para ST, AP, AE e UG (Tabela 3), indicando variabilidade para o grupo de genótipos avaliados com relação a estas características. Por sua vez, o desdobramento dos graus de liberdade de genótipo para híbridos comerciais e experimentais indicou que este grupo de genótipos apresentou diferenças para AP e AE somente (Tabela 3). Isso era esperado em virtude do nível mais avançado de melhoramento em que estes genótipos se encontram (fase comercial ou pré-comercial), o que acarreta uma seleção mais intensificada nas etapas iniciais de desenvolvimento e uma menor diferenciação destes genótipos para características agrônômicas como emergência de plantas, estabelecimento de estande, patamar produtivo, resposta às doenças e outras características (Vencovsky, 1987).

Tabela 3. Estimativas de quadrado médio, médias e componentes genéticos de variância obtidos da avaliação de 36 híbridos experimentais, comerciais e derivados de linhagens duplo-haplóides para seis características de interesse agrônomo. Sete Lagoas - MG, 2019.

Fontes de Variação	GL	ST	TOMB	AP (cm)	AE (cm)	UG (%)	PROD (ton/ha)
Repetição	1	9,14	3,91	1409,85	654,05	0,03	1,58
Genótipos	36	90,09*	7,37	560,58**	348,99**	0,27**	8,37
Híbridos comerciais e experimentais (HCs)	15	65,63	4,26	518,33**	366,61**	0,17	9,58
Híbridos de linhagens duplo-haplóides (DHs)	19	96,32*	9,90	379,10**	273,27	0,37**	6,52
DHs x HCs	1	332,43**	3,57*	4824,10**	1598,82*	0,01	27,28*
Resíduo	36	48,27	5,29	146,93	156,83	0,11	5,91
Média Geral		28,54	2,68	260,50	138,91	11,86	9,28
Média HCs		30,96	2,43	251,25	133,59	11,87	9,98
Média DHs		26,69	2,88	267,54	142,97	11,85	8,75
Variância Fenotípica		32,81	0,45	259,16	183,30	0,09	4,79
Variância Genotípica		8,67	0,09	185,69	104,89	0,03	1,83
H ²		26,44	18,94	71,65	57,22	35,89	38,30
CVg (%)		9,51	21,72	5,42	7,66	1,45	13,57
CVe (%)		24,34	63,54	4,65	9,01	2,74	26,18

**, *Significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste F; GL = grau de liberdade; ST = estande final; TOMB = tombamento; AP = altura de planta; AE = altura de inserção da espiga; UG = umidade de grãos; PROD = produtividade de grãos; H² = coeficiente de determinação genotípico; CVg = coeficiente de variação genético; CVe = coeficiente de variação experimental.

Os híbridos derivados de linhagens duplo-haplóides apresentaram variabilidade significativa para ST, AP e UG (Tabela 3). Linhagens DHs tem como característica principal a máxima homozigose, o que proporciona máxima variância entre famílias, explicando a variabilidade para algumas características (TRINDADE et al., 2019), além de explorar o máximo vigor híbrido, chamado de heterose (BORÉM et al., 2017). Diante do anteriormente citado, é possível se observar variações em características como altura de plantas, com o estabelecimento do estande ou número de plantas por hectare, e com a umidade de grãos, que se relaciona com a precocidade e maturidade da planta.

O contraste entre híbridos derivados de linhagens duplo-haplóides e híbridos comerciais e experimentais indicou diferenças significativas entre estes dois grupos para todas as características avaliadas, com exceção da UG (Tabela 3). É importante destacar cada característica de forma a comparar o desempenho dos híbridos DHs x HCs. Considerando o ST, percebe-se uma menor população de plantas para DHs em comparação com HCs. Uma série de fatores interfere na formação do estande, se iniciando desde a qualidade de sementes, o arranque inicial até a perda de plantas por danos mecânicos ou patógenos (HENNING et al., 2011). Em estágios iniciais de seleção, são esperados maiores problemas na formação de estande, o que é reduzido com o avanço de progênies dentro de um programa de melhoramento.

Foram observados maiores valores de TOMB para híbridos derivados de linhagens DHs, demonstrando maior número de plantas acamadas e quebradas. Entretanto o percentual observado é compatível com o esperado em lavouras comerciais (COIMBRA et al., 2010). Os dados de média indicam superioridade dos híbridos derivados de DHs para AP e AE, características para as quais é desejada uma redução dos valores, o que é esperado em decorrência da fase inicial do programa de melhoramento.

Importa salientar que para todas as fontes de variação, com exceção do contraste entre híbridos derivados de linhagens duplo-haplóides e híbridos comerciais e experimentais, não foram observados efeitos de PROD. Porém, para este contraste, ficou evidente a diferença de cerca de 1 ton/há na produtividade de DHs versus HCs. Este fato indica a necessidade de seleção mais intensa no grupo de híbridos derivados de linhagens DHs, a fim de encontrar indivíduos que se aproximem do padrão observado em híbridos comerciais.

Os coeficientes de variação experimental (CVe) foram mais elevados para ST (23,34), TOMB (63,54) e PROD (26,18). Estes valores indicam uma elevada variabilidade dos dados obtidos para estas características, que também decorre dos tipos de genótipos em teste, que vão desde híbridos comerciais até genótipos experimentais. Essa variabilidade inerente os genótipos são evidenciados pelo coeficiente de variação genotípico (CVg), que foram considerados aceitáveis, dentro dos padrões de precisão experimental para tais características, de acordo com FRITZCHE-NETO et al. (2012). Cabe destaque ainda aos valores do coeficiente de determinação genotípica (H^2), que obteve valores acima de 50% para AP e AE, indicando que a maior parte da variação encontrada no estudo é devido à porção genética, e não à variação ambiental, e, portanto, estas características podem ser melhoradas nas próximas gerações de seleção.

Na Tabela 4 estão as médias relativas aos 37 híbridos avaliados no experimento. Para a característica ST, de acordo com o teste de Tukey, os híbridos foram classificados em dois grupos de médias. Aqueles com maior ST foram DKB310PRO2, 1P2214, DH1800007, BRS3042, DH1800032, DH1800046 e BRS3035, variando entre 36 e 39 plantas por parcela, sendo importante destacar que embora o contraste entre híbridos derivados de linhagens DHs e híbridos comerciais e experimentais indicasse maior ST para este último grupo, os genótipos DH1800007, DH1800032, DH1800046 foram estatisticamente superiores para esta característica.

A característica TOMB variou entre 1 a 7 plantas acamadas e/ou quebradas por parcela, representando 3 a 18 % de acamamento (Tabela 4). Estas características preocupam os melhoristas, principalmente em plantios de safrinha, quando podem ocorrer veranicos, que deixam as plantas mais frágeis e passíveis de queda, e/ou quando acometidas por ventos fortes. Este cenário é mais comum nos meses de junho/julho, coincidindo com o fim do ciclo da cultura na região Centro-oeste do Brasil

(LANDAU et al., 2015). Contudo, no presente estudo não houve impactos severos de tombamento no estande final de plantas ou na produtividade de grãos.

Para AP houve diferenças significativas entre os genótipos, com formação de quatro grupos de médias (Tabela 4). O genótipo DH1800080 apresentou a maior altura de plantas, com 295 cm, enquanto 2B287Hx obteve as menores plantas, com 218 cm. A média do presente conjunto de dados para AP foi de 260 m. Este resultado condiz com os trabalhos de FERREIRA et al. (2009), que avaliaram altura de híbridos comerciais, que apresentaram entre 188 cm a 220 cm de altura de plantas. Além disso, sabe-se que a altura de plantas tem altas correlações com produtividade de grãos, sendo que, plantas mais altas, tendem a ser também mais produtivas (PATERNIANI & CAMPOS, 2005). Para AE os genótipos formaram dois grupos de médias, sendo o híbrido DH1800080 com maior altura de inserção de espiga (163 cm), e o menor DH1800007, com 110 cm.

Tabela 4. Médias dos 36 híbridos avaliados no experimento para seis características de interesse agrônomo. Sete Lagoas, MG, 2019.

Genótipo	ST	TOMB	AP	AE	UG	PROD
AG8061PRO2	33,5 ab	0,5	255 abcd	150 Ab	12,2 Ab	11,01
AG8088PRO2	27,5 ab	1,0	283 ab	160 Ab	11,7 Ab	9,47
BRS1055	21,5 ab	1,0	258 abcd	140 Ab	11,7 Ab	6,97
BRS1060	23,5 ab	2,5	283 ab	150 Ab	11,5 B	8,47
BRS2022	23,0 ab	1,5	253 abcd	135 ab	12,3 Ab	7,01
BRS3035	38,0 a	7,5	260 abcd	123 ab	12,3 Ab	9,84
BRS3042	36,5 a	1,5	245 abcd	120 Ab	12,1 Ab	12,07
2B587Hx	25,0 ab	2,0	218 D	123 Ab	11,7 Ab	6,27
DKB310PRO2	37,0 a	3,0	243 bcd	143 Ab	12,2 Ab	11,43
P30F35VYHR	26,0 ab	4,0	275 abc	153 ab	11,9 Ab	8,21
1F640	27,0 ab	3,5	250 abcd	120 Ab	11,9 Ab	9,42
1L1411	25,5 ab	2,5	275 abc	145 Ab	11,6 Ab	9,03
1O2106	27,5 ab	6,0	255 abcd	133 Ab	11,7 Ab	8,86
1P2214	38,0 a	1,0	285 ab	150 Ab	11,6 Ab	11,91
1P2216	32,0 ab	5,0	258 abcd	155 Ab	11,8 Ab	11,51
1P2227	29,5 ab	3,0	245 abcd	133 Ab	11,4 B	8,59
DH1800005	33,5 ab	2,0	245 abcd	118 Ab	12,1 Ab	10,66
DH1800007	39,0 a	1,5	230 cd	110 B	11,7 Ab	13,51
DH1800013	23,5 ab	1,0	263 abcd	138 Ab	12,2 Ab	8,61
DH1800023	30,5 ab	2,5	243 bcd	123 Ab	12,4 Ab	8,44
DH1800032	37,0 a	1,5	263 abcd	143 Ab	11,6 Ab	12,50
DH1800037	20,5 ab	2,5	250 abcd	138 Ab	11,9 Ab	5,91
DH1800046	38,5 a	3,5	270 abc	148 Ab	11,5 Ab	10,97
DH1800076	22,0 ab	1,0	258 abcd	138 Ab	12,0 Ab	7,42
DH1800077	33,0 ab	2,0	260 abcd	135 Ab	11,8 Ab	10,10
DH1800078	25,5 ab	3,0	255 abcd	133 Ab	12,1 Ab	9,38
DH1800079	21,0 ab	1,5	250 abcd	125 Ab	12,8 A	7,69
DH1800080	31,0 ab	3,5	295 A	163 A	11,3 B	10,33

DH1800085	25,0	ab	0,0	288	ab	153	Ab	11,3	B	9,26
DH1800086	30,0	ab	1,5	275	abc	145	Ab	11,5	Ab	10,22
DH1800112	26,5	ab	1,0	273	abc	148	Ab	11,4	B	9,46
DH1800116	28,5	ab	5,5	273	abc	150	ab	12,0	Ab	10,63
DH1800117	31,5	ab	5,0	270	abc	143	ab	11,4	B	8,28
DH1800118	28,0	ab	2,5	251	abcd	140	ab	12,4	Ab	8,95
DH1800119	25,0	ab	6,0	265	abcd	153	ab	12,5	Ab	8,67
DH1800125	30,5	ab	7,0	283	ab	153	ab	11,7	Ab	9,86

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ST = estande final; TOMB = tombamento; AP = altura de planta; AE = altura de inserção da espiga; UG = umidade de grãos; PROD = produtividade de grãos.

A UG serve como referencial de precocidade, uma vez que indica a maturidade de grãos para colheita. Dentre os híbridos com menor UG estão os genótipos 1P2227, BRS 1060, DH1800080, DH1800085, DH1800112 e DH1800117. Com relação a PROD, dentre todos os genótipos avaliados as maiores produtividades foram obtidas pelos híbridos DH1800007, com 13,51 t.ha⁻¹ e DH1800032, com 12,50 t.ha⁻¹, derivados de linhagens DH. Embora a ausência de significância para genótipo impeça inferência estatística sobre esses dados, em termos absolutos, esses valores de PROD podem ser equiparados aos resultados de híbridos comerciais, como BRS3042 (12,07 t.ha⁻¹), DKB310PRO2 (11,43 t.ha⁻¹) e AG8061PRO2 (11,01 t.ha⁻¹), demonstrando o potencial de híbridos derivados de linhagens DHs quanto a produtividade de grãos. Porém, há grandes variações em produtividade em híbridos derivados de linhagens DHs, com valores oscilando entre 5,91 e 13,51 t.ha⁻¹ (Tabela 4), e, por isso é importante realizar avaliações cuidadosas acerca das melhores combinações para obtenção de heterose (PATERNIANI & CAMPOS; 2005).

Na Tabela 5 constam as estimativas de capacidade combinatória para os cruzamentos realizados, a partir do quadrado médio para produtividade de grãos, desdobrados em capacidade geral de combinação (CGC) de fêmeas e machos (testadores) e em capacidade específica de combinação (CEC). Os efeitos de cruzamento indicam que há diferenças significativas (p>5%) na capacidade combinatória para os genótipos avaliados, sem distinguir entre CGC e CEC, mas servindo como indicativo de que há cruzamentos ou combinações superiores entre os genitores em estudo. Entretanto, é possível observar que os valores de CGC em relação as cinco fêmeas DHs avaliadas e para as quatro linhagens testadoras não indicaram resultados significativos, denotando baixos efeitos aditivos para estes genitores em estudo (tabela 5).

Tabela 5. Estimativas de quadrado médio (QM) para produtividade de grãos (PROD) em relação a Capacidade Geral de Combinação (CGC) das fêmeas DHs e dos testadores, e a Capacidade Específica de Combinação (CEC) dos híbridos gerados pelos cruzamentos entre as fêmeas e os testadores.

Fonte de Variação	GL	QM
Cruzamentos	19	105,40*
CGC Fêmeas DHs	4	38,87 ^{ns}
CGC Testadores	3	98,67 ^{ns}
CEC Híbridos	12	129,26**
Resíduo	36	48,27
Média (u)	5.5	
DP (u)	1.098.568	

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

Apesar de não haver efeitos de diferença entre os progenitores (fêmeas ou testadores) para CGC é preciso avaliar os efeitos de capacidade específica de combinação (CEC) que são importantes em espécies alógamas para o desenvolvimento de cultivares híbridas. Para a CEC dos híbridos os resultados foram significativos ao nível de 1%. Isto indica que, ao menos uma combinação específica resultou em híbridos com valores diferentes dos demais, que, conseqüentemente, pode ser descendente de uma linhagem progenitora com CGC mais elevada. Além disso, de acordo com CRUZ et al. (2004) é viável inferir que, quanto maiores os valores de CEC, mais altos são os desvios de dominância e os ganhos produtivos obtidos com o desenvolvimento dos híbridos.

Os efeitos da CGC dos progenitores (fêmeas DHs e testadores) são apresentados na Tabela 6. Neste caso, das cinco linhagens fêmeas DH1700356 obteve o maior efeito (2,975) de capacidade geral de combinação para a característica PROD, seguida por DH1700358 (0,825) e DH1700402 (0,575). Os efeitos das demais linhagens DH fêmeas foi negativo para tal CGC, o que não é desejável para PROD, que se objetiva aumentar.

Tabela 6. Efeitos da Capacidade Geral de Combinação (CGC) associados as fêmeas DHs e aos testadores para produtividade de grãos.

Progenitores Fêmeas DHs	Efeito	Progenitores Testadores	Efeito
DH1700402	0,575	CMSM035	-1,02
DH1700358	0,825	CMSM048	-0,06
DH1700356	2,975	CMSM036	-3,2
DH1700388	-2,15	5702955	4,28
DH1700389	-2,225		
DP (Gi)	2,197135	DP(Gj)	1,902775
DP (Gi-Gi')	3,473976	DP(Gj-Gj')	3,107218

Com relação aos testadores em avaliação a linhagem que apresentou maior efeito de CGC foi 5702955 (4,28), enquanto os demais testadores apresentaram efeitos negativos para CGC. A CGC é um componente de variância de importante estimação no melhoramento de milho porque refere-se ao comportamento médio de um progenitor quando testado em uma série de combinações híbridas, estando esses valores de CGC associados aos efeitos aditivos, que conduzem ao ganho na geração de híbridos (GRIFFING, 1956).

Os efeitos de CEC constam na Tabela 7, em que são indicados os progenitores participantes de cada cruzamento e os respectivos efeitos de CEC. Com tais resultados é importante destacar os híbridos provenientes dos cruzamentos entre DH170356 x 5702955 (9,645), DH1700402 x CMSM048 (7,485), DH1700358 x CMSM048 (7,435), DH1700358 x CMSM045 (6,295) e DH1700356 x CMSM036 (6,225). Diante dos efeitos estimados de CGC, percebe-se que mesmo que os efeitos de CGC das linhagens sejam negativos para produtividade, é possível encontrar combinações específicas que extrapolem o esperado no comportamento médio dos híbridos.

Tabela 7. Efeitos de Capacidade Específica de Combinação (CEC) para Produtividade de grãos (PROD) considerando as vinte combinações híbridas entre as linhagens.

Fêmeas DHs	Testadores	Efeito
DH1700402	CMSM035	5,745
DH1700402	CMSM048	7,485
DH1700402	CMSM036	-2,875
DH1700402	5702955	-10,355
DH1700358	CMSM035	6,295
DH1700358	CMSM048	7,435
DH1700358	CMSM036	-3,125
DH1700358	5702955	-10,605
DH1700356	CMSM035	-7,455
DH1700356	CMSM048	-8,415
DH1700356	CMSM036	6,225
DH1700356	5702955	9,645
DH1700388	CMSM035	-2,33
DH1700388	CMSM048	-3,29
DH1700388	CMSM036	-0,15
DH1700388	5702955	5,77
DH1700389	CMSM035	-2,255
DH1700389	CMSM048	-3,215
DH1700389	CMSM036	-0,075
DH1700389	5702955	5,545
DP(Sij)		3,80555
DP(Sij-Sik)		6,214436
DP(Sij-Skj)		6,017102
DP(Sij-Skl)		5,152738

Entretanto, é válido enfatizar que, DH170356 x 5702955 (9,645) foi a combinação mais promissora, expressando a maior CEC dentre todos os outros cruzamentos, se destacando em termos de produtividade. As estimativas de CEC expressam a importância dos genes de efeitos não-aditivos, que podem ser compreendidos como os desvios de dominância dos híbridos em relação ao que seria esperado destes, baseado na CGC dos progenitores (SPRAGUE & TATUM, 1942). Com isso, pode-se afirmar que, os híbridos que foram identificados com valores de CEC muito superiores tiveram desempenho geral diferente do que era esperado. Outra questão a destacar é que o genitor 5702955 foi justamente o de maior valor de CGC, o que demonstra que mesmo não havendo diferenças significativas entre as linhagens testadoras para CGC, há efeitos aditivos também envolvidos nesta combinação.

As linhagens DH1700356 e DH1700358 utilizadas como progenitores femininos, merecem destaque por terem sido as que mais resultaram em combinações de alta CEC. Dos quatro cruzamentos possíveis entre essas linhagens dois resultaram em híbridos de alta CEC. No caso da linhagem DH1700356, este resultado corrobora o esperado, sendo este o progenitor de maior CGC (Tabela 6), e que resultou no cruzamento com maior CEC.

No presente trabalho, deve-se considerar que um grupo de híbridos em fase inicial de melhoramento, derivado de linhagens duplo-haplóides, foi comparado com híbridos comerciais ou que finalizaram todos os estágios de um programa de melhoramento. Os resultados obtidos do trabalho indicam que híbridos DHs são competitivos com linhagens obtidas por métodos tradicionais para as características avaliadas, sendo possível selecionar genótipos promissores para avaliação em fases avançadas de um programa de melhoramento.

4. CONCLUSÕES

1. O desempenho agrônomico dos híbridos gerados por progenitores duplo-haplóides para a produtividade de grãos foi inferior, em média, ao de híbridos obtidos por métodos tradicionais.
2. Considerando cada característica agrônômica, em separado, os híbridos derivados de linhagens duplo-haplóides apresentaram produtividade e estande final significativamente inferior a híbridos comerciais e pré-comerciais, derivados de linhagens convencionais. Por outro lado, a altura de planta e a inserção e espiga foram maiores nos híbridos derivados de linhagens DHs.
3. O híbrido DH1800007 apresentou produtividade de grãos de 13,51 t.ha⁻¹, superior as testemunhas comerciais e experimentais.

4. Os resultados obtidos indicam que híbridos derivados de linhagens duplo-haplóides, além, de apresentarem vantagens, como acelerar o tempo de obtenção de novas cultivares, possibilitam o desenvolvimento de híbridos com desempenho agrônômico superior.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMILHO — Associação Brasileira das Indústrias do Milho. Notícias. Disponível em: <<http://www.abimilho.com.br/noticia/horizontes-para-o-milho>>. Acesso em 13 de outubro de 2021.

ARAÚJO, J. R. Uso de Topcross como indicador do potencial de híbridos de milho para extração de linhagens. Lavras: Universidade Federal de Lavras, abr. 2014.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. O milho e o clima. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, p. 84, 2014.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. & FRITSCHÉ-NETO, R. Endogamia e heterose. In: Borém, A. Melhoramento de plantas. Viçosa: UFV, 2017, 543p.

COIMBRA, R. R., MIRANDA, G. V., CRUZ, C. D., DE MELO, A. V., & ECKERT, F. R.. Caracterização e divergência genética de populações de milho resgatadas do Sudeste de Minas Gerais. Revista Ciência Agronômica, v. 41, n. 1, p. 159-166, 2010.

CONAB — Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos23uces/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em 15 de março de 2021.

CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; ALVARENGA, R. C.; NETO, M. M. G.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F. De.; SANTANA, D. P. Manejo da cultura do milho. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. A cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Cap. 8, p. 171 – 197, 2008.

FERREIRA, E. A., PATERNIANI, M. E. A. G. Z., DUARTE, A. P., GALLO, P. B., SAWAZAKI, E., AZEVEDO FILHO, J. A. D. e GUIMARÃES, P. D. S. Desempenho de híbridos top crosses de linhagens S3 de milho em três locais do Estado de São Paulo. Bragantia, v. 68, n. 2, p. 319-327, 2009.

FRITSCHÉ-NETO, R.; VIEIRA, R. A.; SCAPIM, C. A.; MIRANDA, G. C.; REZENDE, L. M. Atualização da proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 34, n. 1, p. 99–101, 2012.

GOODMAN, M. M. História e origem do milho. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G. P. *Melhoramento e produção de milho*. Campinas: Fundação: Cargil, p. 3 – 24, 1987.

GRASSINI, P.; BUSSEL, L. G. J. VAN; WART, J. VAN; WOLF, J.; CLAESSENS, L.; YANG, H.; BOOGAARD, H.; GROOT, H. De; ITTERSUM, M. K. VAN; CASSMANN, K. G. How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. *Field Crops Research*. V.177, p. 49-63, 2015.

GRIFFING, B. 1956b. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463–493. Doi:10.1071/BI9560463

GUIMARAES, L. J. M.; TRINDADE, R. dos S.; PARENTONI, S. N.; GUIMARAES, P. E. de O. Desenvolvimento de linhagens. In: DELIMA, R. O.; BORÉM, A. (Ed.). *Melhoramento de milho*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2018. Cap. 5, p. 102-129.

HENNING, F. A.; JUNIOR, E. A. J.; MERTZ L. M.; PESKE, S. T. Qualidade sanitária de sementes de milho em diferentes estádios de maturação. *Revista Brasileira de Sementes*, 2011.

IBGE -- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção agrícola 2017. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76510> Acesso em: 15 de março de 2021.

LANDAU, E. C.; CRUZ, J. C.; HIRSCH, A.; GUIMARÃES, D. Expansão potencial da produção de milho 2ª safra no Brasil no sistema de sucessão soja-milho considerando o zoneamento de risco climático 2014/15. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/296671702_Expansao_potencial_da_producao_de_milho_2a_safra_no_Brasil_no_sistema_de_sucessao_sojamilho_considerando_o_zoneamento_de_risco_climatico_201415> Acesso em: 15 de março de 2021.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. Clima e solo 2010. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicações/milho_6_ed/climaesolo.htm>. Acesso em: 25 de fevereiro 2021.

LANGNER, J. A.; ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; REINIGER, L. R. S.; KAUFMANN, M. P.; ALVES, A. F. Maize: Key agricultural crop in food security and sovereignty in a future with water scarcity. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V. 23(9), p. 648 – 654, 2019.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento de milho. In: BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV, p. 491-552, 2005.

PRASANNA, B. M. Diversity in global maize germplasm: Characterization and utilization. *Bioscience Journal*, v.37, p. 843–855, 2012.

PRIGGE, V.; MELCHINGER, A.E. (2011). Production of haploids and doubled haploids in maize. In: Loyola-Vargas, VM; Ochoa-Alejo N (eds). *Plant cell culture protocols*. Totowa: Humana Press, 2012. P. 161-172 (Methods in Molecular Biology, v. 87)

SILVA, F. M. da; ALVES, L. S.; BOTELHO FILHO, F. B.; SILVA, I. S. Liquidez dos contratos futuros de milho negociados na BM&FBOVESPA. *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*. V.9, p. 26-44, 2017.

SPRAGUE, G. F. e TATUM, L. A. General vs. Specific combining ability in single crosses of corn 1. *Agronomy Journal*, v. 34, n. 10, p. 923-932, 1942.

TRINDADE, R. D. S., GUIMARAES, L., de SOUZA, I. R. P., GUIMARAES, P. D. O., da SILVA, A. C. A., MARIZ, B., & RIBEIRO, M. Efeito do avanço de gerações na indução de haploidia em populações-fonte de milho. *Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)*, 2019.

VENCOVSKY R (1987). Herança quantitativa. In: Paterniani E; Viégas GP [Ed.]. *Melhoramento e produção do milho*. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, p.137-214.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. Estratégias de manejo para alta produtividade do milho. *Informações agronômicas* 2006. Disponível em: <

[http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/B84F093B561BDAD783257AA100637517/\\$FILE/P
age1-8-113.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/B84F093B561BDAD783257AA100637517/$FILE/P
age1-8-113.pdf)> Acesso em: 15 de março de 2021.