

INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

BACHARELADO EM AGRONOMIA

**Cultura do milho: do melhoramento clássico à
biotecnologia**

GABRIEL MORAES DE SOUZA

Rio Verde, GO
2024

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE**

BACHARELADO EM AGRONOMIA

**Cultura do milho: do melhoramento clássico à
biotecnologia**

GABRIEL MORAES DE SOUZA

Trabalho de Curso apresentado ao
Instituto Federal Goiano – Campus Rio
Verde, como requisito parcial para a
obtenção do Grau de Bacharel em
Agronomia.

Orientador: Prof(a). Dr(a). Fernando Higino
de Lima e Silva

Rio Verde – GO

Fevereiro, 2024

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SS0729 Souza, Gabriel Moraes de
c Cultura do milho: do melhoramento clássico à
biotecnologia / Gabriel Moraes de Souza; orientador
Fernando Higino de Lima e Silva. -- Rio Verde, 2024.
25 p.

TCC (Graduação em Bacharelado em agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.

1. Zea mays. 2. melhoramento genético. 3.
heterose. 4. engenharia genética. I. Silva, Fernando
Higino de Lima e, orient. II. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
 **GABRIEL MORAES DE SOUZA**
Data: 26/02/2024 16:03:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Local / /
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)  **FERNANDO HIGINO DE LIMA E SILVA**
Data: 26/02/2024 16:29:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 8/2024 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos vinte dias do mês de fevereiro de 2024, às 10 horas, reuniu-se, de forma presencial, a banca examinadora composta pelos membros: Prof. Dr. Pablo Diego Silva Cabral Costa (IF Goiano - Campus Rio Verde), Profa. Renata Pereira Marques (IF Goiano - Campus Rio Verde) e Prof. Dr. Fernando Higinio de Lima e Silva (orientador/IF Goiano - Campus Rio Verde), para examinar o Trabalho de Curso intitulado "CULTURA DO MILHO: DO MELHORAMENTO CLÁSSICO À BIOTECNOLOGIA" do discente Gabriel Moraes de Souza, matrícula nº 2019102200240120 do Curso de Bacharelado em Agronomia do IF Goiano - Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros docentes.

(Assinado Eletronicamente)

Fernando Higinio de Lima e Silva

Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Pablo Diego Silva Cabral

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Renata Pereira Marques

Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- Renata Pereira Marques, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/02/2024 14:39:16.
- Pablo Diego Silva Cabral, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/02/2024 09:23:27.
- Fernando Higino de Lima e Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/02/2024 15:36:09.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 20/02/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 573694

Código de Autenticação: 2f9710dc70



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

Regulamento de Trabalho de Curso (TC) – IF Goiano - Campus Rio Verde

ANEXO VII - FICHA DE AVALIAÇÃO FINAL DE TRABALHO DE CURSO

Aluno:

Gabriel Moraes de Souza

Título:

CULTURA DO MILHO: DO MELHORAMENTO CLÁSSICO À BIOTECNOLOGIA

Membro 1 da Banca Examinadora:

Renata Pereira Marques

Membro 2 da Banca Examinadora:

Pablo Diego Silva Cabral

Membro 3 da Banca Examinadora:

Fernando Higino de Lima e Silva

Itens avaliados	Membro 1	Membro 2	Membro 3	Nota Final*
Avaliação Escrita	4,5	4,65	4,6	9,05
Apresentação Oral	4,3	4,5	4,6	
Nota	8,8	9,15	9,20	

*NOTA FINAL: A nota final será obtida a partir da média aritmética simples das notas dos membros da banca $[(\text{Nota do Examinador 1} + \text{Nota do Examinador 2} + \text{Nota do Examinador 3})/3]$.

Renata Pereira Marques
Membro 1 da Banca Examinadora

Pablo Diego Silva Cabral
Membro 2 da Banca Examinadora

Fernando Higinio de Lima e Silva
Membro 3 da Banca Examinadora

Rio Verde, 22 de fevereiro de 2024.

Documento assinado eletronicamente por:

- Pablo Diego Silva Cabral, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/02/2024 17:46:59.
- Renata Pereira Marques, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/02/2024 15:27:00.
- Fernando Higinio de Lima e Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/02/2024 14:55:53.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 22/02/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 575115
Código de Autenticação: 10bd816559



RESUMO

DE SOUZA, Gabriel Moraes. **Cultura do milho: do melhoramento clássico à biotecnologia.** 2024. Monografia (Curso de Bacharelado de Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano– Câmpus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2022.

O milho (*Zea mays*) cruzou eras e angariou o posto de uma das culturas mais importantes socioeconomicamente. Com origem na América Central e domesticação em meados de 5000 a.C., o milho percorreu uma trajetória evolutiva até, no século XXI, ocupar o posto de 2º grão mais cultivado no mundo. Tal posto foi conquistado devido ao milho ser uma cultura democrática. Os diversos métodos de melhoramento possibilitam produção de materiais com características para atender todos os agricultores e suas individualidades. Esse trabalho teve como objetivo apresentar a trajetória de melhoramento do milho, começando por métodos empíricos e sem tecnologia, como seleção massal, seguindo para a descoberta de conceitos como heterose, hibridação, permitindo altas produtividades usufruindo do máximo vigor híbrido, e chegando a era dos avanços biotecnológicos, permitindo a transgenia e produção de organismos geneticamente modificados (OGM).

Palavras-chave: *Zea mays*, melhoramento genético, heterose, engenharia genética.

SUMARIO

1.	INTRODUÇÃO.....	05
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	06
2.1.	Aspectos Gerais.....	06
2.2.	Importância socioeconomica.....	08
2.3.	Genoma e Germoplasma.....	10
2.4.	Melhoramento.....	11
2.5.	Bioteχνologias aplicadas ao milho.....	15
2.5.1.	Cultura de tecidos e duplo-haploides.....	15
2.5.2.	Engenharia genética e transgenia.....	16
2.6.	Registro de cultivares e VCUs.....	17
2.7.	Instituições que desenvolvem programas de melhoramento.....	18
3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	18
4.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays L.*) percorreu a história acompanhando a alimentação humana desde o advento da agricultura. Desde então, acompanhou toda a evolução deste setor de importância mundial, passando pelos períodos de colheita manual e tratamentos culturais até a aplicação de tecnologia para controle de pragas e doenças, através da engenharia genética, que permitiu melhor compreensão do genoma da cultura.

De acordo com Teixeira et al. (2021), essa é uma espécie de grande variabilidade genética, permitindo que seja cultivada em todo o globo terrestre. A grande importância econômica da cultura e sua difusão por todo o mundo, estimulam o desenvolvimento de trabalhos de melhoramento genético, possibilitando maiores produtividades em menores áreas de cultivo. Deste modo, diversos conceitos fornecem a base para a produção de materiais comerciais com grandes potenciais produtivos, dentre eles destacam-se: heterose, possibilitando a expressão do máximo vigor híbrido e a supressão de caracteres deletérios; a hibridação, possibilitando o cruzamento de linhagens de elite, combinando as melhores características de cada uma; a biotecnologia, possibilitando a inserção de genes de outras espécies no milho, favorecendo altas tolerâncias a herbicidas e resistência a pragas e patógenos (LIMA; BORÉM, 2018).

Na atualidade, o milho é uma das plantas de cultivo agrônomico de maior importância socioeconômica no Brasil, sendo o segundo grão mais cultivado no país. Apresenta área de cultivo correspondente a aproximadamente 22,26 milhões de hectares e produção de 131,86 milhões de toneladas, de acordo com dados de 1º, 2º e 3º safras (CONAB, 2023). Sua utilização varia tanto entre cadeias agroindustriais quanto na alimentação humana (GALVÃO et al., 2014).

Essa espécie apresenta grande índice de variabilidade genética, sendo esse fator, primordial para avanço de trabalhos na área de melhoramento genético. Portanto, se faz necessária a conservação e caracterização desse germoplasma para o desenvolvimento de cultivares mais produtivas e resistentes às principais pragas e doenças, além de tolerantes a fatores abióticos. Tendo em vista que o milho é uma cultura difundida por todo o território brasileiro, a diversidade de condições edafoclimáticas no país trás a necessidade do desenvolvimento de trabalhos de seleção genotípica, escolhendo genótipos-alvo pelo fator de adaptabilidade (HEINEMANN et al., 2009).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais

Segundo Fornasieri filho (2007) a hipótese mais aceita para origem genética do milho, como conhecemos, é a de que esse é originado diretamente e exclusivamente do teosinte, uma planta selvagem com características muito próximas as do milho. Já sobre sua origem geográfica, muito se discute até os dias atuais, abrangendo teorias sobre seu surgimento no México, na Bolívia, no Paraguai e até mesmo no Brasil. Porém, o único fato concreto que se tem é o de que esta espécie tão importante para a sociedade moderna teve sua origem nas Américas (CASCUDO, 2004).

O processo de domesticação de espécies vegetais foi um processo lento, iniciado por sociedades que antes eram majoritariamente coletoras, que lentamente se desenvolveu junto ao avanço das sociedades americanas. Acredita-se que o processo de transição da coleta para agricultura foi entre os anos 7000 e 4000 a.C., e foi iniciado pelas mulheres, sendo essas as detentoras, da época, da função de coleta de sementes e semeadura (AQUINO; LEMOS; LOPES, 2008). O milho foi uma das espécies mais antigas a serem domésticas, sendo submetido a esse processo em meados dos anos 5000 a.C., e com o tempo, através de diversos cruzamentos e mutações genéticas, esse cereal apresentou condições favoráveis para seu cultivo em massa (MEGGERS, 1979).

De acordo com Siloto (2002), a classificação botânica do milho é de uma planta monocotiledônea pertencente à família Poaceae, Subfamília Panicoidaeae, gênero *Zea* e espécie *Zea mays* L. Em quesitos mais gerais, Pons e Bresolin (1981), descreveram o milho como uma planta herbácea, monoica, ou seja, possuindo ambos os sexos masculino e feminino na mesma planta, mas em inflorescências diferentes; também é classificada como uma planta anual, pois completa seu ciclo ente 4 e 5 meses.

O milho apresenta um caule do tipo colmo, composto por nós e entrenós. Na porção superior desse sistema caulinar, as folhas estão dispostas de maneira alternada, percorrendo o diâmetro oposto do caule. O limbo foliar é amplo, longo e geralmente liso, formando um ângulo de 90° com o caule através de uma nervura principal resistente (MORAIS, 2012). Possui sistema radicular fasciculado, característico das gramíneas, alcançando profundidades de 1,5 a 3,0 metros, porém o maior volume dessas raízes a até 0,30 metros de profundidade, o que explica a baixa tolerância à deficiência hídrica. Também apresenta raízes tipo escoras, conhecidas como adventícias, que auxiliam na fixação do caule da planta e contribuem para a absorção de sais minerais em solução (FORNASIERI FILHO, 2007). O período vegetativo está sujeito às influências dos fatores climáticos, sendo que o florescimento ocorre em média, de 5 a 12

semanas após a semente, podendo se estender até 10 meses. Em regiões de clima temperado e dias longos, o florescimento tende a ocorrer de forma mais tardia (BARBANO et al., 2001).

A fertilização do óvulo do milho no interior do ovário ocorre entre 12 a 36 horas após a polinização. O desenvolvimento do grão se encerra, em média, 60 dias após a fertilização, resultando em um aumento de volume do ovário para o grão de aproximadamente 1400 vezes. O grão de milho é o fruto de uma semente, característica das gramíneas. Internamente, o grão contém o endosperma e o embrião, sendo que o endosperma representa cerca de 85% da massa total do grão, o embrião corresponde a aproximadamente 10%, e o pericarpo contribui com 5% (BRESOLIN & PONS, 1983). Uma parcela significativa do endosperma é predominantemente composta por amido, sendo este apresentado na forma de grânulos, compostos por dois polissacarídeos de glucose, sendo 75% de amilopectina e 25% de amilose (PAES, 2008).

Após entender a morfologia da planta de milho, é importante compreender a fenologia e comportamento de seus estágios de desenvolvimento, pois esse conhecimento ditará manejo de irrigação, nutrientes, entre outros. Segundo Magalhães et al. (2002), a fenologia do milho é caracterizada em dois estágios, vegetativo e reprodutivo, como será mostrado abaixo na Figura 1.

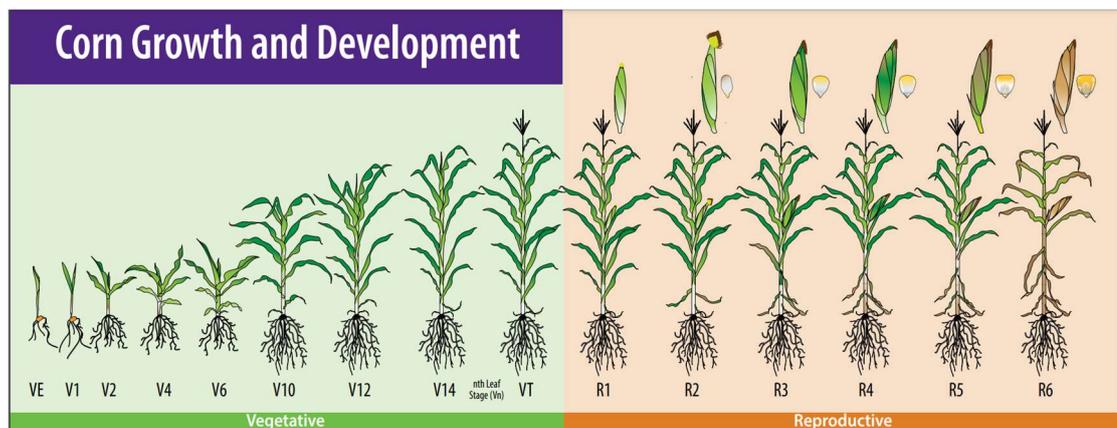


Figura 1. Estágios fenológicos do milho. Fonte: Ciampitti (2011).

Segundo a Embrapa (2002), o estágio vegetativo é dividido entre germinação e emergência; e desenvolvimento vegetativo. A germinação é um período crucial para a cultura, pois é um dos estágios mais sensíveis da planta, no qual a presença de água, nutrientes e temperatura do solo adequados são componentes indispensáveis para o sucesso germinativo. Já os estágios vegetativos, partindo de V1, são caracterizados por folhas completamente expandidas, além disso, apresentam sua importância pois no estágio V3, por exemplo, é onde toda a produtividade (número de grãos e fileiras por espiga) começam a ser definidas. No

estágio reprodutivo é onde acontece o embonecamento e a polinização, momento em que o grão de pólen segue os estilo-estigmas para fecundar e formar um grão na espiga. Posteriormente, os grãos se desenvolvem e passam por diversos estágios, grão bolha d'água, grão leitoso, grão pastoso, formação do dente e maturidade fisiológica, onde cada um desses estágios representam uma característica fisiológica dos grãos.

2.2. Importância Socioeconômica

O milho é um dos tipos de grãos mais importante no mercado mundial, devido a sua grande versatilidade em usos comerciais, indo desde matéria-prima na produção de ração animal, até cadeias de produção para consumo humano. Apesar de ser um cereal muito versátil com relação aos seus usos, o milho é majoritariamente utilizado na alimentação animal. Nos Estados Unidos, por exemplo, seus diversos usos enquadram-se em: 0,2% produção de sementes, 1,2% alimentação humana, 2,6% amido, 5,0% álcool, 8,0% adoçantes, 50,1% alimentação animal, 22,6% exportações e 10,3% estoques finais (Duarte; Garcia, 2021).

Segundo Da Silva Pinheiro (2021), a produção mundial de milho passou de 591 milhões de toneladas para 1,076 bilhões de toneladas entre os anos de 2000/01 e 2017/18, abastecendo principalmente a indústria de ração animal (porcos e frangos principalmente). Porém, a sua produção agrícola não é difundida por todo o mundo igualmente, mas sim concentrada alguns polos agrícolas, destacando-se Estados Unidos, China, Brasil e União Europeia, sendo esses responsáveis por cerca de 72% da produção mundial do grão (USDA 2022/23). Porém, alguns países vêm ganhando relevância no cenário mundial devido ao aumento exponencial do cultivo dessa espécie, tais como: Argentina, México, Índia e Ucrânia; representando 10% da produção mundial.

No quesito comércio internacional, o milho apresenta números menos expressivos do que no quesito produção, apresentando a produção de aproximadamente 1,15 bilhões de toneladas contra 181 milhões de toneladas exportadas, sendo Estados Unidos, Brasil, Ucrânia e Argentina os maiores exportadores do mundo somando 82% da exportação mundial (USDA 2022/23). Ressaltando assim, a importância dessa mercadoria para as linhas de produção nos mercados internos ao redor do mundo.

No Brasil, a progressão das tecnologias na produção de milho acompanha a demanda mundial, apresentando aumento significativo nas áreas de cultivo e nos resultados de colheita dessa cultura. A expectativa de consumo interno desse grão está em torno de 79,6 milhões de toneladas, contra 50 milhões de toneladas destinadas aos portos para exportação. Ainda assim, há previsões de estoque para fevereiro de 2024 (CONAB, 2023).

No âmbito estadual, Goiás é o terceiro maior produtor de milho do Brasil, com cerca de 1,9 milhões de hectares e 12,6 milhões de toneladas na safra 2019/20. O Estado avança como um dos mais relevantes na produção nacional do grão. Entretanto, sobressai-se o fato de a maior parte desse produto ser obtido no Sudoeste Goiano, onde se destacam os seguintes municípios: Rio Verde (1º), Jataí (2º), Montividiu (3º) e Santa Helena (9º) (RADIOGRAFIA DO AGRO, 2021). (Figuras 2 e 3).

MAIORES PRODUTORES

Posição	Municípios
1º	Rio Verde
2º	Jataí
3º	Montividiu
4º	Cristalina
5º	Mineiros
6º	Chapadão do Céu
7º	Paraúna
8º	Silvânia
9º	Santa Helena de Goiás
10º	Bom Jesus de Goiás

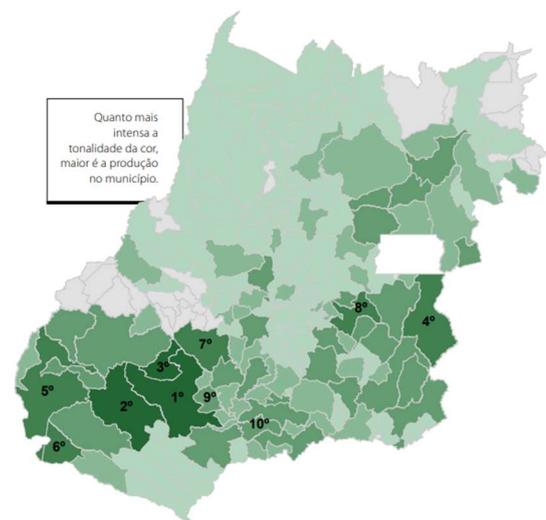


Figura 2. Maiores municípios produtores de milho em Goiás. Fonte: Radiografia do agro (2021).

Figura 3. Maiores municípios produtores de milho no mapa de Goiás. Fonte: Radiografia do agro (2021).

Rio Verde, além de ser um polo econômico e agroindustrial forte no cenário nacional, também é o principal produtor de milho em Goiás. Essa ascensão vem desde o início do século XXI, em que entre os anos 2000 e 2017 houve aumento de 550% na produção do grão no município (SALUSTIANO et al., 2022). (Figura 4).

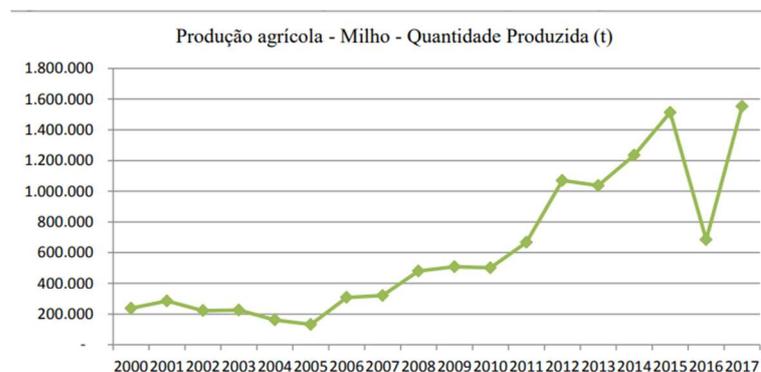


Figura 4. Produção agrícola de milho (em toneladas) entre 2000 e 2017. Fonte: Salustiano et al. (2022).

2.3. Genoma e Germoplasma

O estudo e compreensão da genética foi um dos fenômenos científicos mais importantes da história, pois com esse vieram a luz diversas respostas para questões biológicas que permaneciam como incógnitas, tais como: hereditariedade, expressão gênica, mutações e genoma (LIMA; BORÉM, 2018). Todos esses são importantes tópicos utilizados na engenharia genética.

Segundo Paterniani e Campos (1999), a grande diversidade genética encontrada no milho é considerada um modelo de evolução, uma vez que corresponde a transformações nas frequências gênicas ao longo das gerações. Dentre os fatores que contribuem para a evolução desta planta, temos a seleção, mutação, oscilação genética, migração e hibridação, sendo os mais importantes a hibridação e a seleção. Ainda, esses autores relatam que a hibridação seria o fator mais importante que levaria ao desenvolvimento de cultivares.

É uma espécie que apresenta elevada variabilidade genética, com cerca de 300 raças identificadas e diversas variedades dentro de cada raça (UDRY; DUARTE, 2000). Contudo, apesar dessa grande variabilidade genética, os trabalhos de melhoramento evoluíram ao ponto de produzirem diversos híbridos através do cruzamento de poucas linhagens, deste modo facilitando as pesquisas (MENDES, 2015).

Concomitante a isso, diversos estudos corroboraram para o avanço do conhecimento genético no espectro agrônomo, dentre os quais se destacam os estudos do genoma e do germoplasma. Esse foi um marco revolucionário para destrinchar as características individuais de espécies animais e vegetais, possibilitando a transgenia, e para analisar possíveis combinações geradas por hibridação, abrindo as portas para o desenvolvimento de híbridos de milho cada vez mais produtivos.

Com o avanço desses conhecimentos genéticos, percebeu-se que era possível sequenciar o genoma de um indivíduo, abrindo novas portas para o melhoramento genético de cultivares agrônomicas. O primeiro mapa genético de milho baseado em marcadores moleculares foi publicado por Helentjaris et al. (1986), a partir de então uma série de mapas genéticos, com novos marcadores oriundos de diversas populações.

O estudo do genoma foi a base para o desenvolvimento de conceitos importantíssimos, que ajudam a entender melhor as cultivares agrônomicas. Dentre esses componentes destaca-se os marcadores moleculares, os quais são instrumentos para caracterização de genótipos. Sendo esse conhecimento o embasamento para as mais variadas possibilidades agrônomicas na obtenção de novos híbridos de milho (GUIMARÃES, 2002).

Segundo Guimarães (2002), em meados dos anos 80 a técnica dos marcadores moleculares abriu novas portas para o mapeamento e identificação de regiões genômicas que apresentam fatores de importância agrônômica. Segundo a autora, isso possibilitou a caracterização de genótipos e utilização de tais conhecimentos no melhoramento genético assistido.

Já os bancos de germoplasma tem um papel conservacionista, armazenando materiais de milhos crioulos para manutenção da variabilidade genética da cultura, suprimindo programas de melhoramento (CHAVES et al., 2020). Um dos maiores bancos de germoplasma de milho do Brasil é o da Embrapa Milho e Sorgo, preservando 4155 acessos, entre coleção de base e coleção ativa (TEIXEIRA et al., 2018). Em termos mundiais, o maior banco de germoplasma de milho do mundo é o International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), localizado no México, obtendo mais de 28.000 coleções únicas de sementes de milho (CIMMYT, 2024).

2.4. Melhoramento

O sucesso e o estabelecimento do milho como cultura de alta relevância econômica e como um dos pilares das cadeias de produção alimentícias, está na utilização do melhoramento genético de variedades, que proporciona não só o aumento de produtividade, mas também conduz alterações no acamamento, prolificidade, altura de espiga, área foliar, porcentagem de raízes adventícias e aéreas, entre outros caracteres (PEREIRA, 1991).

O aumento da produtividade no cultivo de milho, inicialmente, se deu pela utilização de híbridos comerciais, devido a sua alta estabilidade, adaptabilidade e ao fato de apresentarem elevada produtividade média, devido longo processo de melhoramento e a pressão de seleção durante as etapas de seu desenvolvimento (ALBUQUERQUE et al., 2008).

De acordo com Cunha et al. (2010), os primeiros sinais da prática do melhoramento genético do milho provavelmente ocorreram entre 1830 e 1900 através dos lavradores norte-americanos. Passado o tempo, percebeu-se que era possível obter combinação ou homogeneização de caracteres já existentes, a partir da realização de métodos de melhoramento comum. No Brasil, o primeiro trabalho de melhoramento genético do milho foi feito no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) em 1932, através da autofecundação de variedades locais (ZANCANARO, 2013).

Tratando-se dos métodos de melhoramento genético no milho, há diversos desses a disposição dos melhoristas, alguns demandam menos tecnologia que outros, como é o caso da seleção massal. Este é um método consiste na seleção de indivíduos que apresentem

características fenotípicas superiores aos demais, baseando os critérios de escolha na necessidade do agricultor que pratica essa técnica. Deste modo não há nenhum tipo de análise gênica direta envolvendo esse método (EICHOLZ et al., 2017). Assim, surgiu a necessidade de aprimoramento dos métodos de melhoramento genético afim de obter-se cultivares mais produtivas.

Segundo Zancanaro (2013), a obtenção de variedades de polinização aberta (VPA's) consiste em um conjunto de genótipos que possuem características próprias bem definidas e são submetidas ao acasalamento ao acaso. Ainda segundo Zancanaro (2013), as VPA's apresentam viabilidade econômica para pequenos produtores, pois apesar de possuírem baixo nível tecnológico, demandam baixo investimento, demonstram menor sensibilidade a variações climáticas e possibilitam que o produtor produza a própria semente.

Já a técnica hibridação tem por objetivo selecionar e reproduzir os genótipos de plantas superiores, através da obtenção de linhagens homozigóticas puras e do cruzamento dessas linhagens para a produção de híbridos, até que se obtenham um conjunto de características fenotípicas agronomicamente aceitáveis para o mercado (ZANCANARO, 2013). A hibridação segue o princípio da máxima heterose, suprimindo caracteres deletérios e usufruindo do máximo vigor híbrido, aumentando o potencial produtivo dessas cultivares (ZANCANARO, 2013).

Durante o processo de obtenção de híbridos tem-se duas grandes etapas, a obtenção de linhagens, através da autofecundação sucessiva (entre 6 e 8 gerações), para se obter genótipos quase que em sua totalidade homozigóticos. Essas podem ser extraídas de populações conhecidas, variedades sintéticas, híbridos comerciais etc., desde que a população inicial possua a menor quantidade de genes deletérios e, ou letais possível (ZANCANARO, 2013). Posteriormente, segundo o autor, são obtidos os híbridos através do cruzamento de linhagens endogâmicas para explorar o máximo da heterose e caracteres agronomicamente benéficos, como observado na figura 5, a seguir.

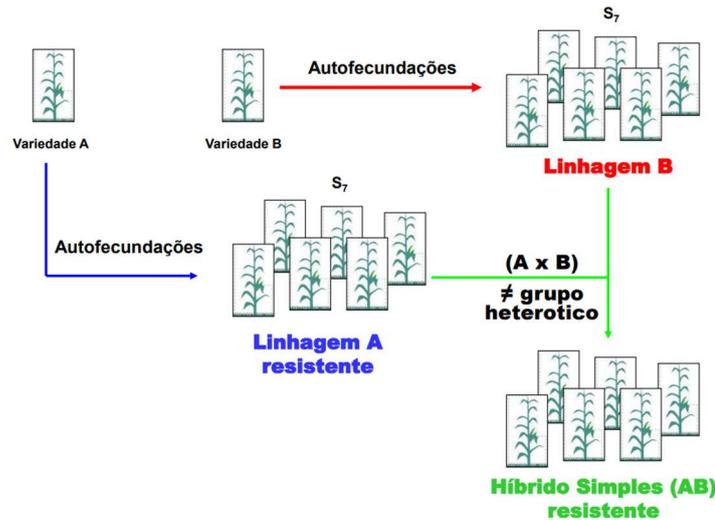


Figura 5. Produção de híbridos simples de milho
Fonte: Zancanaro (2013).

É importante ressaltar que, a depender dos grupos utilizados para cruzamento no processo de hibridação, obtém-se resultados diferentes, os quais são: híbridos simples, duplos ou triplos. De acordo com Allard (1971), os híbridos simples são produzidos entre pares de linhagens puras, selecionadas por um comportamento superior relacionando uma com a outra. O híbrido duplo é a geração F₁, oriunda do cruzamento de dois híbridos simples. Um híbrido triplo é obtido através do cruzamento de um par de linhagens com uma linhagem endógama.

Genótipo	Produtividade	Uniformidade	Estabilidade	Custo
HS	++++	++++	+	++++
HT	+++	+++	++	+++
HD	++	++	+++	++
Variedade	+	+	++++	+

+ = Intensidade

Figure 6. Características do milho de acordo com o tipo de hibridação
Fonte: Zancanaro (2013)

Através da imagem proposta acima (Figura 6), observa-se que as diferentes estratégias de melhoramento podem conferir diferentes resultados a depender dos parâmetros analisados. Observa-se que quanto maior a taxa de heterose de um genótipo, maiores os parâmetros de produtividade e estabilidade, isso devido a heterose proporcionar superioridade da geração F₁ em relação a média das linhagens parentais (SHULL, 1914). Entretanto a estabilidade da

cultivar, representada pela adaptabilidade e estabilidade frente a alterações climáticas, diminui de acordo com o aumento da heterose. Além disso, quanto maior o grau de hibridação maior o custo da semente, devido há exigência de mais tecnologias e o emprego de técnicas mais complexas na fabricação da cultivar.

Ainda assim, outro método importante no melhoramento genético do milho é a seleção recorrente. Segundo Bessalov et al. (1999), tal método tem como finalidade a concentração de alelos favoráveis em uma população, mantendo a variabilidade genética dessa. Ainda de acordo com os autores, as populações submetidas a esse processo podem ser diretamente utilizadas como variedades de polinização aberta, ou como linhagens endogâmicas a serem utilizadas na obtenção de híbridos. É importante ressaltar que esse método em si se baseia na repetição do procedimento a cada ciclo de seleção, tornando esse um processo contínuo.

Segundo Lima e Borém (2018) a seleção recorrente é classificada em duas categorias: intrapopulacional e interpopulacional. De acordo com os autores, a seleção intrapopulacional visa o melhoramento da performance dos caracteres das populações *per se*. Pode ser útil para a incorporação de algum germoplasma exótico em populações adaptadas, ou para adaptar populações a estresse biótico e abiótico. Já a seleção interpopulacional visa o melhoramento da geração F₁ do cruzamento de duas populações pertencentes a grupos heteróticos distintos, melhorando assim as capacidades gerais de combinação entre ambas as populações e melhorando a capacidade específica de combinação do cruzamento entre elas (LIMA; BORÉM, 2018).

Além desses, também há o método de variedades sintéticas, que consiste em um grupo de indivíduos com genótipos diferentes em equilíbrio, obtido pela recombinação de linhagens selecionadas e multiplicadas por polinização aberta. Também, é importante ressaltar que o fator que difere as variedades sintéticas de outros métodos como seleção em massa, é o modo como os genótipos populacionais são escolhidos, sendo esses testados para capacidade de recombinação (ALLARD, 1971).

Uma das formas de explorar o vigor híbrido de materiais superiores em programas de melhoramento genético de milho consiste em obter linhagens parcialmente endogâmicas (S2 ou S3) de genótipos que apresentam divergência genética considerável e, explorar assim a capacidade combinatória dessas progênies em ensaios dialélicos ou de *topcross* (CORDEIRO et al., 2021).

Ambos os métodos têm como objetivo avaliar as linhagens selecionadas para o programa de melhoramento e suas possíveis combinações em etapas de cruzamento e produção de híbridos. Os *topcrosses*, representam o cruzamento de linhagens com um testador comum,

respectivamente, de base genética ampla, para avaliação da capacidade geral de combinação, ou restrita, para avaliação da capacidade específica de combinação (MIRANDA FILHO, 1987). Já os cruzamentos dialélicos são todos os possíveis cruzamentos dentro de um determinado grupo de genótipos, ou seja, tendo-se x genótipos a disposição, é possível obter-se até x^2 combinações (DE OLIVEIRA et al., 1987).

2.5. Biotecnologias aplicadas ao milho

A biotecnologia pode ser definida como um conjunto de técnicas que permitem a manipulação de seres vivos, ou uma parte deles, para fins econômicos. Tais técnicas são utilizadas desde o início do século XX, através da cultura de tecidos, fixação biológica do nitrogênio e controle biológico de pragas. Entretanto, os estudos nessa área foram evoluindo até desenvolverem técnicas mais avançadas, como modificação direta do DNA produzindo Organismos geneticamente modificados (OGM) (DE OLIVEIRA; SANTOS; BARBOSA, 2012).

2.5.1. Cultura de tecidos e duplo-haploides

É importante ressaltar que as técnicas citadas acima, foram de suma importância para o desenvolvimento tecnológico da agricultura. A cultura de tecidos pode ser utilizada na multiplicação de espécies de difícil propagação, pode favorecer programas de melhoramento através da germinação *in vitro* e pode também auxiliar na conservação de acessos de bancos de germoplasma pela manutenção *in vitro* do conteúdo genético de um material. (DE ANDRADE, 2002).

Juntamente a cultura de tecidos, outro grande avanço tecnológico no melhoramento de plantas foi a técnica de produção de duplo-haploides. Um "Duplo-Haploide" (DH) é um genótipo formado quando as células (n) de um indivíduo haploide são submetidas à duplicação cromossômica, de forma espontânea ou induzida artificialmente (PIERRE; et al., 2011). Nos métodos convencionais, a obtenção de linhagens endogâmicas, isto é, com todos os locos gênicos em homozigose, é obtida após seis a oito gerações de autofecundações sucessivas, tornando o processo demorado e oneroso (ROSA et al., 2016). Logo, pode-se dizer que a principal contribuição da produção de duplo-haploides foi a aceleração do processo de obtenção de linhagens homozigotas, utilizadas na produção de híbridos.

Existem diferentes métodos para obtenção de plantas duplo-haploides, como: a gimnogênese que consiste na cultura de óvulos para obtenção de organismos haplóides; os indutores de haploidia que consistem no cruzamento de populações-fonte com indutores de

haploidia com genótipos (linhagens ou híbridos) que possuem a capacidade de induzir, em certa proporção, a formação de sementes com embriões haploides, com constituição genética baseada nos genes dos genótipo-fonte (PIERRE et al., 2011); o método Bulbosum, uma alternativo para a indução de haplóides envolve o cruzamento interespecífico ou intergenérico e a eliminação cromossômica. Os embriões resultantes do cruzamento interespecífico, quando excitados e cultivados *in vitro* podem gerar plantas haplóides; e a cultura de anteras que se baseia no cultivo de anteras seccionadas a partir da planta mãe, para a produção de novos indivíduos haplóides (PETERS et al., 1999).

2.5.2. Engenharia genética e transgenia

Com o avanço e desenvolvimento do estudo genético aplicado a biotecnologia surgiu aquele que é um dos métodos mais importantes para a agricultura moderna, o método de Organismos geneticamente modificados (OGM) ou transgênicos. Os OGM são organismos vivos que tiveram seu material genético alterado por meio de engenharia genética, seja pela inserção de sequências de DNA exógenas, seja pela inativação de genes endógenos (DE OLIVEIRA; SANTOS; BARBOSA, 2012) assim como demonstrado na figura 7. Está técnica de melhoramento foi desenvolvida para suprir a crescente necessidade do controle de pragas, conferindo aos OGM resistência genética ao ataque de insetos e tolerância aos herbicidas seletivos a cultura (RAMOS, 2018).

Segundo Michelotto et al. (2017), o primeiro evento transgênico aprovado para comercialização no Brasil foi o milho expressando a proteína Cry 1AB proveniente de *Bacillus thuringiensis* (Bt), conferindo resistência à lagarta *Spodoptera frugiperda*, tendo esse fato ocorrido em 2007. Já em 2010, houve mais um salto tecnológico, no qual foi aprovado o milho VT PRO2, detentor das tecnologias: Yield Gard®VT PRO, que confere resistência as lagartas, broca-do-colmo, lagarta-da-espiga e lagarta-do-cartucho; e a tecnologia Roundup Ready®, conferindo tolerância à molécula herbicida glifosato (DE SOUZA et al., 2015).

Posterior a esses métodos, tem-se um procedimento ainda mais recente, que é a predição genômica. Essa ferramenta auxilia no desenvolvimento de novos híbridos de milho, pois é uma técnica de estudo avançada que possibilita reconhecer diversos marcadores moleculares em um sequenciamento genômico, aumentando exponencialmente a eficiência de programas de melhoramento (Embrapa, 2018). Um dos exemplos mais relevantes é a utilização dessa técnica para o estudo e obtenção de híbridos tolerantes a seca (DIAS, 2016).

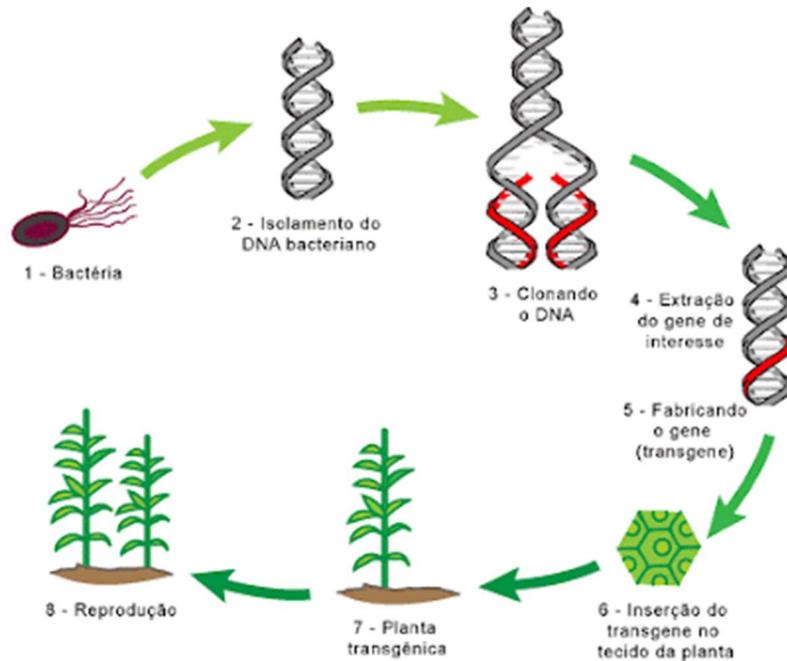


Figura 7. Obtenção de transgênicos. Fonte: Garcia (2010).

2.6. Registro de cultivares e VCUs

Em consulta ao Registro Nacional de Cultivares (RNC), em novembro de 2023, foram encontrados 6100 registros da espécie *Zea mays*. Para que seja feito o registro dessas cultivares, o RNC estabelece normas que seguem a Legislação Específica de Sementes e Mudanças e Normas Relacionadas à Área (2023), no qual a cultivar passa por um processo de análise rigoroso, sendo submetida a ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU). Essa cultivar será comparada a outras cultivares que já possuem registro no RNC e posteriormente, e será avaliada de acordo com a sua adaptabilidade e estabilidade de genótipo.

Tratando do VCU, a cultivar será submetida a um período de teste de no mínimo 2 anos, sendo esses testes realizados em 3 locais por região edafoclimática de importância para a cultura. Nesse ensaio, deve-se analisar todas as características agrônômicas do material em teste como: características botânicas, reação a doenças, produtividade por unidade de área, qualidade nutricional do material, entre outros (MAPA, 2023).

2.7. Instituições que desenvolvem programas de melhoramento

Percebe-se que o Brasil é uma potência mundial no ramo da agricultura devido a esse fato diversas instituições, tanto da esfera privada quanto da esfera pública buscam investir nesse ramo. Nosso país possui uma forte tradição voltada para a pesquisa pública, isso se deve ao

trabalho desenvolvido por instituições como: o Instituto Agrônômico (IAC), o Instituto de Pesquisas Agrônômicas (IPA), o Instituto Riograndense do Arroz (IRGA), Organizações Estaduais de Pesquisa Agropecuária (OEPAs), Departamentos de Ciências Agrárias ou Agronomia de várias Universidades e a Embrapa (BEINTEMA, 2001).

No caso do setor o privado os primeiros investimentos vieram direcionados a produção de sementes de milho híbrido, através de diversas empresas nacionais e transnacionais, destacando-se entre elas a Agrocerec, fundada em 1945. (BEINTEMA, 2001).

Fuck et al. (2011) constataram maior participação do setor privado em atividades de pesquisa envolvendo melhoramento genético vegetal. Isso se deve a grande importância econômica da cultura do milho, tanto nacional como fonte de alimentação animal, quanto internacional como commodity (COELHO, 2021). O passar do tempo evidencia ainda mais o avanço do investimento do setor privado com o desenvolvimento de tecnologias como: VT PRO e Roundup Ready (Grupo Bayer); Agrisure Viptera 2 e Agrisure Viptera 3 (Grupo Syngenta); Leptera, PowerCore e PowerCoreUltra (Grupo Corteva Agrosience do Brasil) e Yiled gard VT PRO (Monsanto) (PEREIRA FILHO et al., 2022).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entende-se que o milho é um cereal de extrema importância, tanto econômica quanto social. Sua trajetória não se limitou ao esquecimento de simples espécies vegetais utilizadas na alimentação de civilizações menos desenvolvidas. Devido ao seu grande potencial como cultivar, o milho foi utilizado como instrumento dos principais métodos de melhoramento genético, dentre os quais se destacam: a hibridação, a qual proporcionou a exploração da heterose, máximo vigor híbrido e supressão dos caracteres deletérios; a cultura de tecidos produzindo duplo-haploides, tornando mais rápido o processo de obtenção de linhagens 100% endogâmicas, utilizadas na produção de híbridos simples; organismos geneticamente modificados (OGM), que possibilitaram a inserção de genes em populações de milho, trazendo a tona mais uma estratégia a ser utilizada no manejo de pragas e ervas daninhas. Logo, percebe-se que tais avanços são apenas mais um passo na longa jornada de um protagonista que continuará a surpreender o mundo com seu potencial.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C.J.B.; VON PINHO, R.G.; SILVA, R. **Produtividade de híbridos de milho verde experimentais e comerciais**. Bioscience Journal, v.24, n.2, p.69-76, 2008.

ALLARD, Robert Wayne. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1971. 373 p.

AQUINO, Rubim Santos Leão de; LEMOS, Nivaldo Jesus Freitas de; LOPES, Oscar Guilherme Pahl Campos. **História das Sociedades Americanas**. 12. ed. Rio de Janeiro: Record, 2008.

BARBANO, M. T., DUARTE, A. P., BRUNINI, O., RECO, P. C., PATERNIANI, M. E. A. G. Z., & KANTHACK, R. A. D. **Temperatura-base e acúmulo térmico no subperíodo semeadura-florescimento masculino em cultivares de milho no Estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 9(2), 261-268. 2001.

BEINTEMA, Nienke M. **P&D agropecuário no Brasil: política, investimentos e perfil institucional**. IFPRI: Fontagro; Brasília: Embrapa, 2001.

BESPALHOK, F. J. C.; GUERRA, Edson Perez; DE OLIVEIRA, Ricardo. **Introdução ao melhoramento de plantas**. FJC Besspalhok, EP Guerra and R. Oliveira. Melhoramento de plantas, p. 1-9, 1999.

BRESOLIN, M.; PONS, AL. **Botânica do milho** [Zea mays]. IPAGRO Informa, 1983.

CASCUDO, Luís da Câmara. **História da alimentação no Brasil**. 3. ed. São Paulo: Global Editora, 2004.

CHAVES, Murilo Henrique Machado et al. **Caracterização morfológica e agronômica de acessos de milho crioulo do Banco de Germoplasma da UFPR**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 10, p. 82646-82667, 2020.

CIAMPITTI, Ignácio A.; ELMORE, Roger W.; LAUER, Joe. **Crescimento e desenvolvimento do milho**. Dent, v. 75, pág. 1-24, 2011.

COÊLHO, Jackson Dantas. **Milho: produção e mercados**. 2021.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira, 2022/23, 12º levantamento**. Acessado em 15 de dezembro de 2023.

CORDEIRO, Ângelo Gabriel Mendes et al. **Diversidade genética entre genótipos de milho (Zea mays L.) a partir de caracteres morfoagronômicos**. Revista de Ciências Agroambientais, v. 2, pág. 125-131, 2021.

CUNHA, Solange et al. **História da genética no Brasil: as contribuições de Friedrich Gustav Brieger para o melhoramento do milho (1938-1966)**. 2010.

DA SILVA PINHEIRO, Luana et al. **Características agro econômicas do milho: uma revisão**. Natural Resources, v. 11, n. 2, p. 13-21, 2021.

DE ANDRADE, S. R. M. **Princípios da cultura de tecidos vegetais**. 2002.

DE OLIVEIRA, Andréia Morais Xavier; SANTOS, Rodrigo da Silva; BARBOSA, Mônica Santiago. **A biotecnologia aplicada ao melhoramento genético vegetal: controvérsias e discussões**. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v. 10, n. 1, p. 339-361, 2012.

DE OLIVEIRA, Antonio Carlos et al. **Análise de cruzamentos dialélicos parciais repetidos em vários ambientes**. 1987.

DE SOUZA, João Paulo Freitas et al. **Efeito de silicato de cálcio e magnésio no crescimento inicial de milho transgênico**. Revista de Agricultura Neotropical, v. 2, n. 3, p. 13-17, 2015.

DIAS, KO das G. et al. **Seleção genômica para tolerância ao déficit hídrico em milho**. 2016.

DUARTE, Jason de Oliveira; GARCIA, João Carlos (ed.). **Milho: importância socioeconômica**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao->

tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica#:~:text=Na%20realidade%2C%20o%20uso%20do,para%20ano%20(Figura%201). Acesso em: 16 jan. 2024.

EICHOLZ, Eberson Diedrich et al. **Milho crioulo: prática da seleção massal estratificada**. 2017.

EMBRAPA. **Predição genômica ajuda identificar milho mais tolerante ao déficit hídrico**. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/36411420/predicao-genomica-ajuda-a-identificar-milho-mais-tolerante-ao-deficit-hidrico>. Acesso em: 19 nov. 2023.

FONTES, Eliana Maria Gouveia; VALADARES-INGLIS, Maria Cleria. **Controle biológico de pragas da agricultura**. 2020.

FORNASIERI FILHO, Domingos. **Manual da cultura do milho**. Funep, 2007.

FUCK, Marcos Paulo; BONACELLI, Maria Beatriz. **O contexto da organização da ciência, tecnologia e inovação: evolução histórica e perspectivas futuras para o melhoramento genético vegetal no Brasil**. Desenvolvimento em debate, v. 2, n. 2, p. 73-89, 2011.

GALVÃO, João Carlos Cardoso et al. **Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho**. Revista Ceres, v. 61, p. 819-828, 2014.

GARAVAZI, Fabio; PATRONI, Bruno Henrique; DE CARVALHO BALIEIRO, Cristiano. **Comparativo do controle biológico e químico de Spodoptera frugiperda na cultura do milho**. Revista Ensaios Pioneiros, v. 4, n. 1, p. 89-98, 2020.

GARCIA, Tereza. **Transgênicos**. Bio News - Ciência e Tecnologia. <https://biosite.no.comunidades.net/transgenicos>, 2010. Acesso em outubro de 2023.

GUIMARÃES, Claudia Teixeira. **Genoma milho: o estado da arte**. 2002.

HEINEMANN, Alexandre Bryan et al. **Padrões de deficiência hídrica para a cultura de**

milho (safra normal e safrinha) no estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, p. 1026-1033, 2009.

HELENTJARIS, T.; SLOCUM, M.; WRIGHT, S.; SCHAEFER, A.; NIENHUIS, J. **Construction of genetic linkage map in maize and tomato using restriction fragment length polymorphisms.** *Theor. Appl. Genet.* 72: 761-769. 1986.

LIMA, Rodrigo Oliveira de; BOREM, Aluizio. **Melhoramento de milho.** Minas Gerais: Editora Ufv, 2018. 396 p.

MAGALHAES, Paulo César et al. **Fisiologia do milho.** 2002.

MEGGERS, Betty J. **América pré-histórica.** 2. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1979. Tradução de Eliana Teixeira de Carvalho.

Melhoramento de Plantas. Disponível em www.bespa.agrarias.ufpr.br. p.11-15. Acesso em: 18 de novembro de 2023.

MENDES, Marcela Pedroso. **Predição genômica de híbridos simples de milho.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2015.

MICHELOTTO, Marcos Doniseti et al. **Eficácia de milho transgênico tratado com inseticida no controle da lagarta-do-cartucho no milho safrinha no estado de São Paulo, Brasil.** *Ciência e Agrotecnologia*, v. 41, p. 128-138, 2017.

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Legislação Específica de Sementes e Mudanças e Normas Relacionadas à Área.** 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/legislacao>. Acesso em: 21 nov. 2023.

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Registro de cultivares da espécie Zea mays.** 2023. Disponível em: https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php?txt_ordem=&od_especie=2738&postado=1&acao=pesquisar. Acesso em: 21 nov. 2023.

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Valor de Cultivo e Uso**. 2022. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/registro-nacional-de-cultivares-2013-rnc-1/valor-de-cultivo-e-uso-2013-vcu>. Acesso em: 21 nov. 2023.

MIRANDA FILHO, J. B. et al. **Melhoramento e produção do milho**. Campinas: Fundação Cargill, v. 2, p. 765-794, 1987.

MORAIS, T. P. D. 82 f. **Adubação nitrogenada e inoculação com *Azospirillum brasilense* em híbridos de milho**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) –Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Agronomia, Uberlândia. 2012.

PAES, M. C. D. **Manipulação da composição química do milho: impacto na indústria e na saúde humana**. 2008. Artigo em Hypertexto. Recuperado de http://www.infobibos.com/Artigos/2008_4/milho/index.htm

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, [s.n.], p. 429-485. 1999.

PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E. **Cultivares de milho para safra 2022/2023**. 2022.

PEREIRA, Renato Sergio Borges. **Caracteres correlacionados com a produção e suas alterações no melhoramento genético do milho (*Zea mays* L.)**. 1991. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PETERS, J. A.; BOBROWSKI, V. L.; ROSINHA, G. M. S. **Produção de haplóides e duplo haplóides**. TORRES, A.C; CALDAS, L.S; BUSO, J.A. Cultura de tecidos e transformação genética de plantas. Brasília: EMBRAPA/CBAB, v. 2, p. 569-612, 1999.

PIERRE, Patrícia Maria Oliveira et al. **Duplo-haploides: estratégias para obtenção e importância no melhoramento genético do milho**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 10, n. 1, p. 1-16, 2011.

PONS, A.; BRESOLIN, M. **A cultura do milho**. Trigo e Soja. Porto Alegre, n. 57, p. 6-31,

1981.

RADIOGRAFIA DO AGRO. Goiânia - Go: Seapa, 2021.

RAMOS, Leandro Nogueira. **Híbridos de milho geneticamente modificados comparados a híbridos de milho convencionais em terras altas do Brasil central.** 2018.

ROSA, Luciano Rodrigo; SENA, Marcus Reis; SHIOMI, Humberto Franco. **Double haploid technology to determine the inheritance of resistance to stalk rot (*Fusarium verticillioides*) in corn inbred lines.** Summa Phytopathologica, v. 42, p. 59-66, 2016.

SALUSTIANO, Joel et al. **O desempenho agropecuário e os impactos socioeconômicos em Rio Verde - GO (2000 a 2017).** 2022.

SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. **Instrução Normativa nº 51, de 19 de novembro de 2018.** Estabelece os requisitos para inscrição de materiais experimentais ou pré-comerciais e de materiais utilizados exclusivamente como parentais de híbridos no Registro Nacional de Cultivares - RNC. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/INN51de19denovembrede2018.pdf> - acessado em 21/11/2023

SHULL, G. H. **Duplicate genes for capsule-form in *Bursa bursa-pastoris*.** Zeitschrift fur Induktive Abstammungs-und Vererbungslehre, v. 12, n. 1, p. 97-149, 1914.

SILOTO, R. C. **Danos biológicos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em genótipos de milho.** Piracicaba, SP. 93 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2002.

TEIXEIRA, Flavia França; DOS SANTOS TRINDADE, Roberto. **Recursos genéticos de milho: importância e uso no melhoramento.** Revista Ifes Ciência, v. 7, n. 3, p. 01-22, 2021.

TEIXEIRA, Flavia França et al. **Coleções base e ativa de germoplasma de milho: conservação de acessos.** In: Congresso brasileiro de recursos genéticos; workshop em bioprospecção e conservação de plantas nativas do semi-árido. 2018.

UDRY, Consolación V.; DUARTE, Wilton. **Uma história brasileira do milho: o valor dos recursos genéticos**. Paralelo 15, 2000.

VALICENTE, Fernando Hercos. **Controle biológico de pragas com entomopatógenos**. Informe agropecuário, v. 30, n. 251, p. 48-55, 2009.

ZANCANARO, Paolo Orlando. **Melhoramento Genético do Milho**, 2013.

USDA. **Dados de mercado e comércio: milho**. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 26 out. 2023