

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE SOJA NO  
CENTRO-OESTE BRASILEIRO**

por

**CARLA TICIANA WILKE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Bioenergia e Grãos.

Rio Verde – GO

Fevereiro – 2024

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE SOJA NO  
CENTRO-OESTE BRASILEIRO**

por

CARLA TICIANA WILKE

Orientador: Prof. Dr. Pablo Diego Silva Cabral– IF Goiano

Coorientador da Instituição: Prof. Dr. Aurelio Rúbio Neto – IF Goiano

Coorientador da Empresa: Filipe Bertagna – Syngenta Seeds

Rio Verde – GO

Fevereiro – 2024

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

WW681a Wilke, Carla Ticiana  
Adaptabilidade e Estabilidade de Cultivares de  
Soja no Centro Oeste Brasileiro / Carla Ticiana  
Wilke; orientador Pablo Diego Silva Cabral; co-  
orientador Aurélio Rúbio. -- Rio Verde, 2024.  
46 p.

Dissertação (Mestrado em Bionergia e Grãos) --  
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.

1. GGE Biplot. 2. Recomendação de cultivares.. 3.  
Glycine max. 4. Melhoramento de soja. 5. Interação G  
x A. I. Cabral, Pablo Diego Silva , orient. II.  
Rúbio, Aurélio, co-orient. III. Título.





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

Ata nº 23/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**  
**ATA Nº 77 (SETENTA E SETE)**  
**BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Aos doze dias do mês de março do ano de dois mil e vinte e quatro, às 09h30min (nove horas e trinta minutos), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada de forma remota, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **CARLA TICIANA WILKE**, discente do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Pablo Diego Silva Cabral, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da Dissertação que, em 30 min, procedeu a apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu a examinada, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIOENERGIA E GRÃOS**, na área de concentração Agroenergia, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBG da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade, se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos resultados em revista científica de circulação nacional, após a implementação das modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

<b>Nome</b>	<b>Instituição</b>	<b>Situação no Programa</b>
Pablo Diego Silva Cabral	IF Goiano – Campus Rio Verde	Presidente
Ranata Pereira Marques	IF Goiano – Campus Rio Verde	Membro interno
Josie Cloviane de Oliveira Freitas	UEG - Campus Palmeiras de Goiás	Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- Jôsie Cloviane de Oliveira Freitas, Josiê Cloviane de Oliveira Freitas - Professor Avaliador de Banca - Ueg (01112580000171), em 12/03/2024 11:38:44.
- Renata Pereira Marques, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/03/2024 11:33:01.
- Pablo Diego Silva Cabral, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/03/2024 11:30:54.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 08/02/2024. 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: 570619

Código de Autenticação: 88bf28cdfc



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

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE SOJA NO  
CENTRO-OESTE BRASILEIRO**

por

**CARLA TICIANA WILKE**

Orientador: Prof. Dr. Pablo Diego Silva Cabral– IF Goiano

Examinadoras:

Profa. Dra. Renata Pereira Marques

Profa. Dra. Jôsie Cloviane de Oliveira Freitas

Rio Verde – GO

Fevereiro – 2024

## **DEDICATÓRIA**

À minha Mãe Zilda, por sempre acreditar em mim e por não me deixar desamparada a distância.

Ao meu Coorientador Professor Aurélio, pelo incentivo, parceria e persistência em minha formação.

Ao meu Coorientador Professor Filipe, pelo apoio durante os momentos mais difíceis da minha carreira, que coincidiram com os momentos mais difíceis deste mestrado.

Ao meu orientador Professor Pablo, pela confiança em minha experiência e pela insistência na minha disciplina e formação.

Ao meu namorado Alisson, pelo total apoio durante todo esse processo.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela dádiva da vida e por me permitir realizar tantos sonhos nesta existência. Obrigada por me permitir errar, aprender e crescer; por Sua eterna compreensão e tolerância; por Seu infinito amor; por Sua voz “invisível” que não me permitiu desistir; e principalmente por ter me dado uma família tão especial. Enfim, obrigada por tudo. Ainda não descobri o que eu fiz para merecer tanto.

Ao Professor Pablo, pela orientação, competência, profissionalismo e dedicação tão importantes. Tenho certeza de que não chegaria até aqui sem o seu apoio. E também ao Professor Aurélio, pela sinceridade, autenticidade, disciplina e disponibilidade de sempre.

Aos meus colegas de trabalho que, por vezes, me substituiriam para que fosse possível efetuar as entregas deste trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	2
ABSTRACT .....	3
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>4</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Origem da cultura da soja .....	6
2.1.1 Botânica da cultura da soja.....	7
2.2. Importância da cultura .....	8
2.2.1 Mercado mundial de soja.....	9
2.2.2.1 Cultura da soja do centro-oeste brasileiro .....	10
2.3 Tecnologias aplicadas ao cultivo de soja no Brasil .....	10
2.3.1 Melhoramento genético da cultura da soja.....	11
2.3.1.1 Contribuição no melhoramento para o aumento do rendimento de grãos... 13	
2.4. Interação genótipo x ambiente .....	14
2.5. Adaptabilidade e estabilidade.....	15
2.6. Método GGE Biplot na seleção de genótipos .....	17
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>18</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>21</b>
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>35</b>

# ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE SOJA NO CENTRO OESTE BRASILEIRO

por

CARLA TICIANA WILKE

Sob orientação do Professor Dr. Pablo Diego Silva Cabral – IF Goiano

## RESUMO

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) está entre as mais importantes *commodities* agrícolas, sendo a principal oleaginosa produzida no mundo. O Brasil é o país líder na produção mundial de soja, seguido pelos Estados Unidos da América. Os estados de Goiás e Mato Grosso estão entre os principais produtores de soja no país. Entretanto, esses estados apresentam consideráveis variações edafoclimáticas ao longo das áreas de cultivo. Essas variações são uma das principais causas de interação genótipos x ambientes, o que dificulta o processo de seleção e recomendação de cultivares de soja. Assim, o objetivo do presente trabalho foi estimar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em localidades do centro-oeste brasileiro, para posterior recomendação de cultivares promissoras. Foram avaliados: a produtividade de grãos (PROD) e a massa de 100 grãos (MCG) de 46 genótipos de soja da safra 2017/2018, em oito áreas experimentais distintas. Os dados foram submetidos à análise de variância individual e conjunta e análise de adaptabilidade e estabilidade pelo método GGE Biplot. Os genótipos representados por G32 e G46 foram os que apresentaram maior adaptabilidade nos diversos ambientes de estudo formados pela característica PROD. Por sua vez, a recomendação para MCG foi: genótipos G1 e G27 e genótipos G44, G18 e G20 para o primeiro e segundo mega ambiente formado, respectivamente. Os genótipos G46, G41, G28, G30, G14 e G8 apresentaram as maiores médias e apresentaram-se estáveis para PROD. Para MCG, o genótipo que apresentou a melhor relação quanto à média e estabilidade foi G7. Os genótipos G27, G31, G32, G41 e G46 foram os que mais se aproximaram de um genótipo hipotético ideal para PROD e G26, G35 e G44 para MCG. Esses resultados encontrados serão úteis para posterior recomendação de cultivares em dois estados importantes para o cultivo de soja no Brasil, Goiás e Mato Grosso.

**PALAVRAS-CHAVE:** GGE Biplot; *Glycine max*; Interação G x A; Melhoramento de soja; Recomendação de cultivares.

# **ADAPTABILITY AND STABILITY OF SOYBEAN CULTIVARS IN THE CENTRAL-WEST OF BRAZIL**

por

CARLA TICIANA WILKE

Under the guidance from the teacher Dr. Pablo Diego Silva Cabral– IF Goiano

## **ABSTRACT**

Soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.) are among the most important agricultural commodities, being the main oilseed produced in the world. Brazil is the leading country in world soybean production, followed by the United States of America. The states of Goiás and Mato Grosso are among the main Brazilian soybean producing states. However, these states present considerable soil and climate variations across the cultivation areas. These variations are one of the main causes of genotype x environment interactions, which complicates selecting and recommending soybean cultivars. Thus, the objective of the present work was to estimate stable and adaptable soybean cultivars in cities in the Brazilian Central-West, for subsequent recommendation of promising cultivars. The grain yield (PROD) and mass of one hundred grains (MCG) of 46 soybean genotypes from the 2017/2018 harvest were evaluated, in eight different experimental areas. The data were subjected to individual and joint analysis of variance and adaptability and stability analysis using the GGE Biplot method. The genotypes represented by G32 and G46 were those with greater adaptability to the mega environment formed for the PROD trait. In turn, the recommendations for MCG were the genotypes G1 and G27 and the genotypes G44, G18, and G20 for the first and second mega environment formed, respectively. Genotypes G46, G41, G28, G30, G14, and G8 showed good averages and were stable for PROD. For MCG, the genotype that showed a good relationship in terms of mean and stability was G7. Genotypes G27, G31, G32, G41, and G46 were those that came closest to an ideal hypothetical genotype for PROD and G26, G35, and G44 for MCG. These results will be useful for later recommendation of cultivars in two important states for soybean cultivation in Brazil, Goiás and Mato Grosso.

**KEYWORDS:** GGE Biplot; *Glycine max*; G x E interaction; Soybean breeding; Cultivar recommendation.

## 1. INTRODUÇÃO

A espécie *Glycine max* L. é a principal oleaginosa do mundo, com uma produção de 363,27 milhões de toneladas, correspondendo a 60,43% da produção mundial de oleaginosas. O Brasil lidera a produção mundial de soja com uma participação de 37,71%. Em segundo lugar estão os Estados Unidos da América (30,97%), seguidos de Argentina (12,66%), China (5,39%), Índia (2,87%), Paraguai (2,72%) e Canadá (1,74%) (USDA, 2019; Rani & Kumar, 2022).

Na safra 2022/2023, a produção brasileira atingiu cerca de 320,1 milhões de toneladas de grãos, em uma área cultivada de cerca de 78,3 milhões de hectares. O estado de Goiás é o terceiro maior produtor, com média de 32,6 milhões de toneladas (CONAB, 2023).

A soja é cultivada em diferentes ambientes e exposta a diferentes características de solo, temperatura, fotoperíodo e pluviosidade. Na perspectiva do melhoramento genético, caracteres denominados quantitativos, como a produtividade de grãos, sofrem grande influência dos fatores ambientais sob o valor fenotípico dos indivíduos avaliados (Cruz et al., 2014).

Os programas de melhoramento de soja têm contribuído para o desenvolvimento de cultivares produtivas, adaptadas e estáveis às diferentes condições climáticas do país (Priolli et al., 2004). Apesar do rendimento de grãos ser o caractere alvo destes programas, este deve estar associado a características agronômicas desejáveis, incluindo elevada qualidade de sementes, composição química (teor de óleo, proteína, composição dos ácidos graxos) tolerância a herbicidas, pragas e doenças, bem como resistência ao acamamento, eficiência fotossintética, entre outros (Silva et al., 2018; Carneiro et al., 2019).

A interação de genótipos com ambientes (GxA) pode ser definida como GE sendo o efeito diferencial dos ambientes sobre os genótipos (Chaves, 2001). De outro modo, resulta da resposta diferencial dos genótipos à variação ambiental. Assim, o efeito da interação genótipos x ambientes (G x A) é crucial na recomendação de cultivares. Por isso, a busca por cultivares com ampla adaptação aos diferentes ambientes tem aumentado devido à dependência das oscilações climáticas nas épocas e locais de cultivo (Almeida et al., 2021).

Na fase final dos programas de melhoramento, é comum a avaliação de potenciais cultivares em vários locais, safras e anos, antes que estas possam ser recomendadas aos

agricultores. Isso tem como objetivo validar um genótipo potencial nas diferentes condições de cultivo, além de aumentar a confiança em se recomendar para determinada região uma cultivar através de estudos de adaptabilidade e estabilidade (Bisinotto, 2013). Um exemplo disso são os ensaios VCU (Valor de Uso e Cultivo) nos quais algumas cultivares como a soja devem ser avaliadas antes do seu registro RNC (Registro Nacional de Culturas), conforme regido pela Lei nº 10.711, de 2003 e regulamentado pela portaria nº 294 (Embrapa, 2021).

São descritas inúmeras formas de estudar e também contornar a interação G x A. Dentre elas, a análise de adaptabilidade e estabilidade é o método que identifica uma maior correlação de igual resposta dos genótipos em um conjunto de ambientes, agrupando, em mega ambientes, os ensaios mais homogêneos (Cruz et al., 2012). Para a análise de G x A, diversos procedimentos estatísticos têm sido utilizados, incluindo métodos univariados e multivariados (Mederos-Ramirez et al., 2021).

A metodologia GGE biplot constitui-se na análise de componentes principais para o estudo de ensaios multi ambientes e, com isso, permite observar se existem relações entre os ambientes testados, os genótipos e interação genótipo x ambiente. Assim a metodologia GGE Biplot é mais indicada para a identificação de mega ambientes, seleção de ambientes representativos e indicação de cultivares mais adaptadas e estáveis a ambientes específicos (Gauch et al., 2008; Yan, 2011).

Dessa forma, o objetivo desse estudo foi estimar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja da safra 2017/2018 em oito municípios do centro-oeste brasileiro, para posterior recomendação de cultivares que expressaram boas performances das características de interesse, produtividade e massa de 100 grãos, no ambiente de cultivo recomendado.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Origem da cultura da soja

Acredita-se que a soja cultivada moderna *Glycine max* ( $2n = 40$ ) foi domesticada a partir da soja selvagem *Glycine soja* Sieb. Zucc. ( $2n = 40$ ) no leste da Ásia há 6.000 - 9.000 anos (Carter et al., 2004; Kim et al., 2012). Observações recentes concordam com a hipótese de que a transição para a soja domesticada ocorreu de forma gradual.

O resequenciamento de 302 sojas silvestres, crioulas ou melhoradas sugere que toda soja domesticada deriva de um único grupo de soja silvestre *G.max*, apoiando a hipótese de origem única de que toda soja domesticada atualmente cultivada se originou de um único evento de domesticação, sendo datadas entre 2883 e 2838 a.C as primeiras aparições de grãos. Neste período, a soja era considerada um grão sagrado, assim como o arroz, o trigo, a cevada e o milheto (Zhou et al., 2015).

A produção de soja ficou restrita à China até meados de 1890, quando ocorreu o término da guerra entre a China e o Japão. Na Europa, a soja só foi introduzida no final do século XV, nos jardins botânicos da Alemanha, França e Inglaterra (Embrapa, 2008).

Devido aos teores de óleo e de proteína do grão de soja, as indústrias despertaram interesse neste grão, com tentativas de cultivo em países como Alemanha, Rússia e Inglaterra. As tentativas restaram fracassadas, provavelmente, devido às condições climáticas desfavoráveis (Embrapa, 2011).

No Brasil, a soja foi tida como produto comercial em potencial no final da década de 1960. Neste período, o trigo era a principal cultura do sul do país, sendo esta uma cultura de inverno. A soja surgiu como uma opção de cultura para o verão e sua produção também foi uma necessidade estratégica para a fabricação de ração destinada a suínos e aves. Em 1966, o Brasil teve uma produção de soja de aproximadamente 500 mil toneladas (Zhou et al., 2015).

Em 1970, houve a explosão do preço da soja em âmbito mundial, o que ocasionou maior interesse do governo e até mesmo dos agricultores em cultivar a soja. Neste cenário, o Brasil começou a investir em tecnologias para a adaptação da soja ao clima brasileiro (Freitas, 2024).

Os investimentos em pesquisa levaram à “tropicalização” da soja, permitindo, que o grão fosse plantado em regiões de baixas latitudes, o que revolucionou a história mundial da soja. Seu impacto começou a ser notado pelo mercado a partir do final da

década de 1980 e mais ainda na década de 1990, quando os preços do grão começaram a cair. Atualmente, os líderes mundiais na produção mundial de soja são: Brasil, Estados Unidos, Argentina, China, Índia e Paraguai (Embrapa 2008)

### 2.1.1 Botânica da cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L) Merrill) cultivada no Brasil, para a produção de grãos, é uma planta herbácea, da ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae, gênero *Glycine*, espécie max. Soja (Sediyama & Swearingin, 1970; Rani & Kumar, 2022).

As flores dessa cultura são papilionáceas típicas, com cálice tubular de cinco sépalas desiguais, corola de cinco pétalas, androceu de dez estames e gineceu. A flor é branca ou roxa. Cinco pétalas estão dispostas em uma grande pétala na região posterior, duas pétalas laterais em forma de asa e duas pétalas anteriores em forma de quilha. A quilha envolve o androceu, que possui nove filamentos estaminais posteriores fundidos e um livre (Marquete, 1981).

O gineceu possui um ovário com quatro óvulos e um estilete que termina em um estigma capitado inclinado em direção ao filamento livre do estame. O crescimento do estilete e dos estames é síncrono, o que facilita a liberação do pólen na maturidade diretamente no estigma. Como resultado, a biologia floral da flor da soja a torna em grande parte uma cultura autógama. Assim, o cruzamento entre os pais desejados requer a remoção manual das anteras (Rani & Kumar, 2022).

As principais variedades comerciais apresentam caule híspido, pouco ramificado e raiz com eixo principal e muitas ramificações. Desenvolvem vagens (legumes) levemente arqueadas que, à medida que amadurecem, evoluem da cor verde para amarelo-pálido, marrom-claro, marrom ou cinza, e que podem conter de uma a cinco sementes lisas, elípticas ou globosas, de tegumento amarelo pálido, com hilo preto, marrom.

A estatura das plantas varia, dependendo das condições do ambiente e da variedade (cultivar). A estatura ideal está entre 60 a 110 cm, o que, em lavouras comerciais, pode facilitar a colheita mecânica e evitar o acamamento. O ambiente também influencia sua floração e, conseqüentemente, seu ciclo. A floração da soja responde ao nictoperíodo, ou à duração da noite. Para facilitar a compreensão, normalmente fala-se

em fotoperíodo, que é a duração do dia. A soja é uma planta de dias curtos, uma vez que, sob dias longos, ela atrasa seu florescimento e alonga seu ciclo (Embrapa, 2011).

Com o uso da característica do florescimento tardio em dias curtos, ou do chamado “período juvenil longo”, não há mais restrição fotoperiódica ao plantio comercial de soja, mesmo sob a linha do equador, o que rendeu ao Brasil o título de país que “tropicalizou” a soja (Bergamin, S/D).

As cultivares brasileiras de soja são classificadas em grupos de maturação (GM), com base em seu ciclo. Essa classificação varia conforme a região. Por exemplo, para Goiás e Mato Grosso, os GM são: semiprecoce (101 a 110 dias); médio (111 a 125 dias); semitardio (125-145 dias); tardio (>145 dias). No Paraná, eles são: precoce (até 115 dias); semiprecoce (116-125 dias); médio (126-137 dias) e semitardio (138-145 dias) (Embrapa-CNPSO, 2008).

## **2.2. Importância da cultura**

Globalmente, *Glycine max* é uma espécie de leguminosa de grande importância econômica, considerada uma das principais fontes de proteína e óleo na alimentação animal, bem como um alimento básico para consumo humano (Sedivy et al., 2017).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor de soja em 38 milhões de ha, seguido dos Estados Unidos da América (33,6 milhões de ha), Argentina (16,4 milhões de ha), China (9,3 milhões de ha) e Índia (12 milhões de ha) (Rani & Kumar, 2022).

O interesse mundial pelo cultivo dessa leguminosa se deve à combinação de alta produtividade, baixo custo de produção e elevadas concentrações de proteína (40%) e óleo (20%) nas sementes (Albuquerque et al., 2022). A soja é importante para a economia brasileira e mundial devido aos seus diversos usos no mercado, consumo humano, fabricação de rações, biocombustíveis, matéria-prima farmacêutica e cosmética (Carvalho et al., 2022; Casas-Leal et al., 2022).

Hoje, a soja é a principal cultura no Brasil, tanto em escala quanto em valor. No entanto, o começo do seu cultivo no país não foi de grande significância. A soja foi uma cultura de menor importância até a década de 1960, quando se restringiu à Região Sul (subtropical), de onde se expandiu para a Região Centro-Oeste (tropical) na década de 1980. Esse crescimento foi possível graças ao desenvolvimento de cultivares bem adaptadas às condições de baixa latitude da Região. Posteriormente, os programas de

melhoramento de soja permitiram que essa cultura se espalhasse por todo o país (Cattelan & Dall'Agnol, 2018).

### 2.2.1 Mercado mundial de soja

O mercado mundial de soja tem experimentado uma evolução significativa nas últimas décadas. Grandes centros de produção, como Brasil, Estados Unidos e Argentina, lideram a produção. Essa evolução está intrinsecamente ligada à crescente demanda global por produtos à base de soja, tanto na indústria alimentícia quanto na de biocombustíveis. Além disso, mudanças nos padrões alimentares e o aumento da conscientização sobre os benefícios para a saúde associados ao consumo de produtos à base de soja contribuíram para essa expansão (Embrapa, 2023).

Apesar do crescimento notável, o mercado global de soja enfrenta desafios significativos. A pressão ambiental associada ao desmatamento, particularmente na região amazônica, levanta preocupações sobre a sustentabilidade da produção desta cultura. Além disso, questões comerciais e geopolíticas, como tarifas e disputas comerciais entre grandes produtores e consumidores, podem impactar a estabilidade do mercado (Embrapa, 2019).

Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, em um estudo divulgado em junho de 2023, a produção de soja no mundo já ultrapassa os 369,029 milhões de toneladas. Além disso, a área plantada possui cerca de 136,029 milhões de hectares (USDA/PSD, 2023).

O Brasil é o maior produtor mundial de soja e, em 2023, exportou cerca de 66,8 bilhões de dólares. Segundo a Embrapa (2023), o Mato Grosso é o maior estado produtor, ultrapassando 5 milhões de hectares de área plantada.

O futuro do mercado de soja está intrinsecamente vinculado à capacidade do setor de enfrentar desafios sustentáveis. Inovações tecnológicas, práticas agrícolas sustentáveis e a diversificação de mercados emergentes representam oportunidades significativas para os produtores e exportadores. Além disso, a busca por alternativas para mitigar os impactos ambientais e promover a responsabilidade social tornam-se elementos-chave para a sustentabilidade a longo prazo do mercado (Embrapa, 2018).

### 2.2.2.1 Cultura da soja do centro-oeste brasileiro

O centro-oeste brasileiro tem desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento da agricultura nacional e a cultura da soja destaca-se como um componente vital desse cenário. O centro-oeste brasileiro lidera a produção de grãos devido às extensas áreas de plantio e cultivo. Segundo a APROSOJA (2019), a produtividade dessa região é superior à produtividade média do país.

A cultura da soja no centro-oeste é notável por sua produtividade excepcional, impulsionada por fatores como o clima favorável, solos ricos em nutrientes e a adoção de tecnologias avançadas. A análise das práticas agronômicas inclui a seleção de variedades adaptadas, o manejo integrado de pragas e doenças, bem como estratégias eficientes de rotação de culturas (Embrapa, 2021).

As perspectivas futuras da cultura da soja no centro-oeste abrangem a busca por práticas agrícolas mais sustentáveis, a diversificação de mercados e a adoção de tecnologias inovadoras. A transição para uma produção mais sustentável é discutida como um imperativo para garantir a resiliência da agricultura na região frente a desafios ambientais e econômicos em constante evolução (Embrapa, 2018).

## 2.3 Tecnologias aplicadas ao cultivo de soja no Brasil

O setor agrícola brasileiro testemunhou uma transformação significativa com a incorporação de tecnologias avançadas ao cultivo de soja. Esta contribuiu para a otimização da produção, para a gestão sustentável dos recursos e para o posicionamento do Brasil como um líder global na produção de soja (Diers et al. 2018).

A implementação de tecnologias agronômicas avançadas no cultivo de soja tem sido uma peça-chave para melhorar a produtividade. Isso inclui técnicas de melhoramento genético, como a produção de variedades resistentes a pragas e doenças, além de métodos de manejo de solo que visam maximizar a eficiência no uso de nutrientes. A análise detalhada destas práticas destaca os ganhos alcançados na qualidade e na quantidade da produção (Lacerda Filho et al., 2008).

O uso crescente de maquinário agrícola avançado e sistemas automatizados tem transformado a face da agricultura de soja no Brasil. Tratores autônomos, drones para

monitoramento de lavouras e colheitadeiras equipadas com tecnologia de precisão são exemplos de como a mecanização e automação têm contribuído para a eficiência operacional e a redução de custos (Cruz et al, 2012).

O advento da agricultura digital trouxe consigo ferramentas poderosas baseadas em dados. A integração de sensores, monitoramento remoto e análise de grande data tem permitido aos produtores tomar decisões mais informadas em tempo real. Este segmento da análise aborda como a tecnologia digital tem sido aplicada para otimizar o manejo de culturas, prever safras e melhorar a gestão logística (Massruhá et al. 2020).

Apesar dos benefícios evidentes, a adoção de tecnologias no cultivo de soja não está isenta de desafios. Questões relacionadas à infraestrutura, custos de implementação e resistência cultural podem impactar a plena assimilação dessas inovações. Contudo, identificam-se oportunidades para superar esses desafios, como parcerias público-privadas e programas de capacitação para os produtores (Embrapa, 2023).

As perspectivas futuras da tecnologia no cultivo de soja no Brasil apontam para a contínua evolução das práticas agronômicas, a expansão da agricultura de precisão e o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis. A busca por tecnologias inovadoras que abordam desafios específicos, como mudanças climáticas e pressões ambientais, emerge como uma área crucial de pesquisa e implementação (Pereira et. al 2022).

### 2.3.1 Melhoramento genético da cultura da soja

O melhoramento genético tem sido um instrumento fundamental na busca pela otimização das características agronômicas da soja. A manipulação genética tem contribuído para o desenvolvimento de variedades de soja mais resilientes, produtivas e adaptadas a diferentes ambientes, considerando as demandas crescentes por alimentos e os desafios ambientais associados à produção agrícola.

O melhoramento genético da cultura da soja foi e ainda tem sido fundamental para a sua expansão no território brasileiro. Entretanto, como tem sido difícil expandir a agricultura para novas áreas, o aumento da produtividade é essencial para o seu cultivo (Yang et al., 2020).

Assim, os programas de melhoramento da soja têm visado o ganho genético na produção de sementes, além da tolerância a fatores bióticos e abióticos. A disponibilização de cultivares com alto potencial produtivo, ampla adaptação e elevada

aceitação pelo mercado consumidor favorecem o crescimento contínuo da soja no Brasil (Silva, 2018).

Melhoristas têm buscado selecionar genótipos de soja superiores que possam maximizar características agronômicas qualitativas e quantitativas, o que tem sido uma tarefa árdua e custosa (Carvalho et al., 2022).

O progresso no melhoramento genético da soja é evidente na introdução de variedades que apresentam maior resistência a patógenos específicos, tolerância a estresses abióticos e melhor qualidade nutricional. Técnicas avançadas, como a seleção assistida por marcadores moleculares, têm acelerado o processo de desenvolvimento de variedades, permitindo uma abordagem mais precisa na escolha de características desejáveis (Pipolo et al. 2007).

A resistência genética a pragas e doenças é uma prioridade no melhoramento genético da soja. O estudo abrange as estratégias empregadas para identificar e incorporar genes de resistência, considerando a dinâmica em constante evolução dos patógenos e as implicações na redução do uso de pesticidas e no aumento da sustentabilidade agrícola (Embrapa, 2023).

A variabilidade ambiental é uma consideração crítica na produção de soja, dada a expansão das áreas de cultivo. Sendo assim, este trabalho analisa como os programas de melhoramento genético têm visado desenvolver variedades adaptadas a diferentes condições climáticas, do cerrado brasileiro às regiões subtropicais, visando otimizar o rendimento e a estabilidade da produção em diversos ambientes.

Apesar dos avanços notáveis, o melhoramento genético enfrenta desafios, como a necessidade de equilibrar a introdução de características desejáveis sem comprometer a diversidade genética. Além disso, questões éticas e regulatórias envolvendo organismos geneticamente modificados (OGMs) requerem uma abordagem cautelosa. O estudo discute estratégias para superar esses desafios e destaca a importância de pesquisas contínuas para enfrentar novos desafios ambientais e de mercado.

As perspectivas futuras do melhoramento genético na cultura da soja incluem a aplicação de técnicas de edição genética, como CRISPR-Cas9, para uma manipulação genética mais precisa. Além disso, aborda-se a importância de considerar as mudanças climáticas e a busca por variedades mais sustentáveis, resistentes e nutritivas para garantir a segurança alimentar global (Embrapa, 2023).

### 2.3.1.1 Contribuição no melhoramento para o aumento do rendimento de grãos

Desde o domínio da ciência da agricultura, o homem promove o melhoramento de plantas, selecionando variedades mais produtivas, mais resistentes às pragas e doenças, mais adaptáveis e mais estáveis (Allard & Bradshaw, 1964). O aumento do rendimento de grãos é uma prioridade crucial em meio à crescente demanda global por alimentos.

O progresso no melhoramento genético tem resultado na introdução de variedades de culturas com características favoráveis ao incremento do rendimento de grãos. Técnicas de seleção assistida por marcadores, hibridização e a incorporação de genes específicos têm sido instrumentais na obtenção de plantas mais produtivas e adaptadas a diferentes ambientes (Freitas et al. 2005).

A resistência das plantas a estresses ambientais, como doenças e pragas, desempenha um papel crítico no rendimento de grãos. Este estudo explora como o melhoramento genético tem visado características que conferem resistência, permitindo uma produção mais estável e resiliente em face das adversidades ambientais (Peixoto et al. 2018).

Além da quantidade, a qualidade dos grãos é uma consideração vital. O estudo discute como as estratégias de melhoramento genético têm visado aprimorar características nutricionais, como teor de proteínas, vitaminas e minerais, bem como atributos fisiológicos que influenciam diretamente a qualidade dos grãos (Ferrão et al. 2015).

Apesar dos avanços, o melhoramento genético enfrenta desafios, como a necessidade de equilibrar múltiplas características desejáveis e a resistência genética, evitando a perda de diversidade genética. Considerações éticas e regulatórias também surgem como desafios importantes na implementação de avanços genéticos (Cruz et al., 2012).

As perspectivas futuras do melhoramento genético para o aumento do rendimento de grãos incluem a integração de técnicas de edição genética de precisão e a busca por variedades adaptadas às mudanças climáticas. Estratégias para aprimorar a eficiência do processo de melhoramento genético e sua aplicação em culturas alimentares críticas são destacadas como áreas de pesquisa prioritárias.

## 2.4. Interação genótipo x ambiente

A interação genótipo x ambiente é um conceito fundamental na genética e na biologia evolutiva, que descreve como os efeitos dos genes e do ambiente se combinam para determinar as características fenotípicas de um organismo. Este fenômeno tem implicações significativas em diversas áreas, desde a agricultura e a medicina até a conservação da biodiversidade (Bornhofen et al., 2017).

A interação genótipo x ambiente ocorre quando os efeitos dos genes de um organismo sobre suas características fenotípicas são modificados pelo ambiente em que ele se desenvolve. Em outras palavras, o mesmo conjunto de genes pode levar a diferentes fenótipos em ambientes diferentes, ou diferentes conjuntos de genes podem levar ao mesmo fenótipo em ambientes diferentes (Bisinotto, 2013).

Uma das adversidades apontadas pelos melhoristas é que o desempenho de uma cultivar pode mudar de um ambiente para outro devido a componentes genéticos (G) e ambientais (A), ou à sua interação (G x A) (Bornhofen et al., 2017). Para minimizar esses efeitos, os programas de melhoramento têm investido na análise de genótipos, com realização de diversos ensaios nas fases finais, ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU).

Esses ensaios ocorrem em diferentes locais e épocas para obter maior representatividade e confiabilidade na recomendação de um determinado genótipo para uma determinada região. De tal modo, os melhoristas de soja desenvolveram cultivares cada vez mais adaptadas e estáveis a diferentes ambientes. Essa alta capacidade de produção em diferentes ambientes auxilia na expansão e abertura de novas fronteiras agrícolas (Bisinotto, 2013).

Um exemplo clássico de interação genótipo x ambiente é a altura das plantas. Uma determinada variedade de plantas pode crescer mais em um tipo de solo do que em outro. Outro exemplo é a suscetibilidade a doenças em humanos, em que a influência dos genes na predisposição a certas doenças pode ser amplificada ou reduzida, dependendo do estilo de vida, dieta e exposição ambiental (Lynch et al. 1998).

A compreensão da interação genótipo x ambiente é crucial para diversos campos, incluindo agricultura, medicina, ecologia e conservação. Na agricultura, por exemplo, os agricultores podem selecionar variedades de culturas que se adaptem melhor a diferentes condições ambientais, aumentando assim a produtividade das safras. Da mesma forma, na medicina, a compreensão da interação genótipo x ambiente pode ajudar os médicos a

personalizarem os tratamentos com base no perfil genético e ambiental de cada paciente, maximizando assim a eficácia dos tratamentos (Bisinotto, 2013).

Além disso, a interação genótipo x ambiente desempenha um papel importante na evolução das espécies. A variação genética dentro de uma população permite que ela se adapte a diferentes ambientes ao longo do tempo, aumentando sua capacidade de sobrevivência e reprodução. Essa capacidade de adaptação é fundamental para a conservação da biodiversidade em face das mudanças ambientais e climáticas (Falconer, 1996).

Na prática, a análise da interação genótipo x ambiente envolve a realização de experimentos em diferentes ambientes para avaliar como diferentes genótipos respondem a essas condições. Técnicas como a análise de variância (ANOVA) e modelos estatísticos mistos são frequentemente empregadas para quantificar a magnitude da interação entre genes e ambiente (Visscher et al. 2012).

Além disso, avanços recentes na genômica e na bioinformática estão permitindo uma compreensão mais detalhada da interação genótipo x ambiente em diversos organismos. Por exemplo, estudos de associação genômica ampla (GWAS) podem identificar genes específicos que interagem com o ambiente para influenciar características complexas, como a resistência a doenças em humanos e animais (Falconer, 1996).

## **2.5. Adaptabilidade e estabilidade**

A adaptabilidade e a estabilidade de genótipos são características fundamentais no melhoramento genético de plantas, especialmente em culturas agrícolas, cuja produção está sujeita a diferentes condições ambientais. A adaptabilidade refere-se à capacidade de um genótipo de se desenvolver bem em diferentes ambientes, enquanto a estabilidade diz respeito à consistência do desempenho do genótipo em diferentes situações. Ambos os atributos são cruciais para a seleção de cultivares com ampla aplicabilidade e resiliência em face das flutuações ambientais.

A adaptabilidade genotípica é uma característica complexa determinada pela interação entre o genótipo e o ambiente. Os genótipos adaptáveis são capazes de expressar seu potencial genético sob uma ampla gama de condições ambientais. Essa capacidade é crucial para garantir a estabilidade do desempenho da cultura, independentemente das variações no clima, solo ou práticas de manejo (Visscher et al. 2012).

Segundo Cruz e Carneiro (2003), a adaptabilidade genotípica pode ser medida por meio de métodos estatísticos, como regressão linear, não-linear ou modelos mistos. Essas abordagens permitem avaliar a resposta de diferentes genótipos em múltiplos ambientes e identificar aqueles com maior plasticidade fenotípica.

A estabilidade genotípica está relacionada à consistência do desempenho de um genótipo em diferentes ambientes. Um genótipo estável mantém seu rendimento ou características desejáveis independentemente das variações ambientais. Esta característica é particularmente importante em culturas sujeitas a estresses abióticos ou bióticos, cuja uniformidade na produção é essencial (Visscher et al. 2012).

De acordo com Annicchiarico (1992), a estabilidade genotípica pode ser avaliada por meio de métodos como AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction). Eberhart e Russell (1966) analisam a interação genótipo x ambiente e classificam os genótipos com base em sua estabilidade ao longo de diferentes condições de cultivo.

A adaptabilidade e estabilidade de genótipos também desempenham um papel fundamental na segurança alimentar e na sustentabilidade agrícola. Cultivares adaptadas e estáveis reduzem os riscos de perdas de produção devido a condições adversas, contribuindo para a estabilidade dos sistemas agrícolas e para a garantia de fornecimento de alimentos (Cruz e Carneiro, 2003).

A seleção de genótipos com alto grau de adaptabilidade e estabilidade é essencial para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente demanda por alimentos em escala global (Falconer and Mackay, 1996). Além disso, a compreensão dos mecanismos genéticos subjacentes à adaptabilidade e estabilidade pode orientar estratégias de melhoramento genético mais eficientes e sustentáveis.

A adaptabilidade e estabilidade de genótipos são características complexas e inter-relacionadas que desempenham um papel crucial no sucesso das culturas agrícolas. A seleção de genótipos com essas características é essencial para garantir a produção agrícola em diferentes ambientes e condições climáticas. Avanços na compreensão dos mecanismos genéticos subjacentes à adaptabilidade e estabilidade podem oferecer oportunidades para melhorar a resiliência das culturas e promover a segurança alimentar global (Cruz e Carneiro, 2003).

Um método para determinar o comportamento dos genótipos, bem como o efeito da interação genótipo por ambiente é por meio de estudos de adaptabilidade e estabilidade (de Souza et al., 2020). A adaptabilidade é definida como a capacidade de um genótipo

responder vantajosamente ao seu ambiente, enquanto sua estabilidade está relacionada à previsibilidade de seu comportamento (Finlay & Wilkinson, 1963; Eberhart et al., 1966).

É possível identificar genótipos que possuem adaptabilidade ampla ou específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis. São ditos como ambientes favoráveis e desfavoráveis aqueles que resultam em desempenho médio do genótipo acima ou abaixo da média de todos os ensaios, respectivamente (Finlay & Wilkinson, 1963).

A característica de produtividade de grãos é uma preocupação constante nos programas de melhoramento da soja por ser altamente influenciada pelo ambiente. Esta característica pode ser significativamente afetada pelas épocas de semeadura. Assim, para a correta recomendação de cultivares, métodos de análise de estabilidade e adaptabilidade são utilizados para verificar a interação genótipo x ambiente em diferentes épocas de semeadura e ambientes de cultivo (Almeida et al., 2021).

## **2.6. Método GGE Biplot na seleção de genótipos**

Para a análise de G x A, diversos procedimentos estatísticos têm sido utilizados, incluindo métodos univariados e multivariados. O método multivariado mais utilizado é o método de Efeitos Aditivos Principais e Interações Multiplicativas (AMMI), considerando que os efeitos dos genótipos e do ambiente são aditivos e lineares. Este método estatístico permite não só estimar a estabilidade, mas também avaliar localidades e consequentemente classificar ambientes (Mederos-Ramirez et al., 2021).

O Método GGE biplot é uma modificação do método AMMI e constitui-se da análise de componentes principais para o estudo de ensaios multi-ambientes. Isso permite a visualização das relações entre os ambientes testados, os genótipos e interação genótipo x ambiente. Essa metodologia agrupa os efeitos aditivos dos genótipos com os efeitos multiplicativos da interação e produz a análise de componentes principais (Yan & Tinker, 2006).

As vantagens do GGE Biplot em relação à AMMI são. O método GGE biplot explica sempre uma porção intermediária da soma de quadrados de genótipos mais a interação. Ambos os eixos estão na mesma escala, portanto, o gráfico GGE biplot mostra não só a performance média e a estabilidade de cada genótipo, mas também a performance relativa de cada genótipo em cada ambiente (Yan & Tinker, 2006).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos contaram com 46 genótipos de soja (Tabela 1) da safra 2017/18 que foram avaliados nos municípios de Rio Verde 1-GO (Latitude: 17° 47' 53" S; Longitude: 50° 55' 41" W; Altitude: 715m), Rio Verde 2-GO (semeado 15 dias após o Rio Verde 1), Goiatuba – GO (Latitude: 18° 00' 45" S; Longitude: 49° 21' 17" W; Altitude: 774m), Rondonópolis – MT (Latitude: 16° 28' 15" S; Longitude: 54° 38' 08" W; Altitude: 227m), Paraúna – GO (Latitude: 16° 56' 52" S; Longitude: 50° 26' 55" W; Altitude: 721m), Alto Garças – MT (Latitude: 16° 56' 38" S; Longitude: 53° 31' 41" W; Altitude: 754m), Jataí – GO (Latitude: 17° 52' 53" S; Longitude: 51° 42' 52" W; Altitude: 696m) e Montividiu – GO (Latitude: 17° 26' 39" S; Longitude: 51° 10' 29" W; Altitude: 821m).

Os ensaios foram organizados com delineamento em blocos casualizados, parcelas de 4 linhas de 4 metros, 50 cm entre linhas, três repetições e 16 plantas por metro. Foi realizada a colheita das duas linhas centrais dos experimentos para avaliações fenotípicas das características de interesse e posteriores análises estatísticas.

**Tabela 1.** Identificação dos genótipos e grupo de maturação (GM) dos cultivares de soja.

Identificação	Genótipos	GM	Identificação	Genótipos	GM
1	G1	81	24	G24	72
2	G2	73	25	G25	73
3	G3	76	26	G26	75
4	G4	80	27	G27	79
5	G5	81	28	G28	85
6	G6	69	29	G29	68
7	G7	79	30	G30	81
8	G8	80	31	G31	85
9	G9	80	32	G32	82
10	G10	82	33	G33	83
11	G11	83	34	G34	85
12	G12	66	35	G35	68
13	G13	77	36	G36	84
14	G14	83	37	G37	81
15	G15	88	38	G38	80
16	G16	84	39	G39	70
17	G17	82	40	G40	74
18	G18	72	41	CD2827IPRO	82
19	G19	73	42	AS3797IPRO	79
20	G20	68	43	DESAFIORR	74
21	G21	72	44	M7110IPRO	71

22	G22	82	45	M7739IPRO	77
23	G23	77	46	M8210IPRO	82

Foram avaliados os seguintes caracteres: (i) produtividade de grãos (PROD), obtida pela pesagem de cada parcela, ajustados a 13% de umidade e extrapolado para  $\text{kg.ha}^{-1}$ ; (ii) massa de cem grãos (MCG), obtida pela média da tomada aleatória de 100 grãos em replicata em cada parcela e pesado em balança digital.

Os dados foram submetidos à análise individual de variância, com o efeito de tratamentos considerados fixos e todos os outros efeitos considerados aleatórios. Posteriormente será realizada a análise conjunta, de acordo com o seguinte modelo estatístico, considerando todos os experimentos:

$$y_{ijk} = \mu + r_j(a_k) + g_i + a_k + g_i a_k + \varepsilon_{ijk}$$

sendo,  $r_j(a_k)$  o efeito aleatório do bloco j no ambiente k;  $a_k$  : o efeito aleatório do j-ésimo ambiente;  $g_i a_k$  : efeito aleatório da interação entre o genótipo i com o ambiente k e  $\varepsilon_{ij}$  é um efeito residual, com  $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ , em que  $\sigma_\varepsilon^2$  é a variação residual. Todos os modelos foram realizados no ASReml-R v.3 package (Butler et al., 2009), disponível no software R.

Para o agrupamento de médias dos genótipos, foi utilizado o critério de agrupamento de Scott-Knott, sendo que todas as análises foram realizadas utilizando-se o programa Genes (Cruz, 2013).

Os dados foram submetidos à análise de adaptabilidade e estabilidade usando o GGE metodologia biplot (Yan et al., 2000). O modelo GGE biplot utilizado será:

$$y_{ij} = \mu + \beta_j + y_{1\varepsilon i l \rho j l} + y_{2\varepsilon i 2 \rho j 2} + \varepsilon_{ijk}$$

em que  $y_{ij}$  é a característica avaliada para o genótipo i no ambiente j;  $\mu$  é a média geral de observações;  $\beta_j$  é o principal efeito do meio ambiente;  $y_{1\varepsilon i l \rho j l}$  e  $y_{2\varepsilon i 2 \rho j 2}$  são os erros associados ao primeiro (PC1) e segundo componente principal (PC2), respectivamente;  $\varepsilon_{1\varepsilon i l}$  e  $\varepsilon_{2\varepsilon i 2}$  são os valores de PC1 e PC2, respectivamente, para o genótipo da ordem i;  $\rho j l$  e  $\rho j 2$  são os valores de PC1 e PC2, respectivamente, para o ambiente da ordem j; e  $\varepsilon_{ijk}$  é o erro associado ao modelo de o i-ésimo genótipo e j-ésimo ambiente (Yan et al., 2000).

Para essa análise foi utilizado o Pacote Metan implementado no software R (R Development Core Team, 2014).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de variação experimental (CV) foram inferiores a 20% para PROD e MCG (Tabela 2), ou seja, apresentaram magnitude relativamente baixa, para os dois caracteres avaliados e, portanto, alta precisão experimental devido a um menor desvio padrão residual (Pimentel-Gomes & Garcia, 2002). De acordo com a Lei de Proteção de Cultivares (nº 9.456), a recomendação de novas cultivares só pode ocorrer após a realização de VCU e, entre as normas para a condução desses VCUs, está uma que afirma que só devem ser considerados os experimentos cujos CV sejam inferiores ou iguais a 20% (BRASIL, 2012).

As médias de PROD foram superiores à média nacional da safra 2017/2018 (3,394 t/ha) para a maioria dos ambientes avaliados (Tabela 2) (CONAB, 2018). Apenas os ambientes E3, E6 e E7, representados por Goiatuba, Alto Garças e Jataí, respectivamente, apresentaram valores de PROD inferiores. Esses mesmos ambientes apresentaram as menores médias para MCG (Tabela 2). Isso sugere que, de alguma forma, as condições edafoclimáticas destes locais não favorecem o desenvolvimento dos grãos, impactando diretamente na PROD e na MCG.

**Tabela 2.** Médias para as características PROD e MCG para 46 genótipos de soja, avaliados nos oito ambientes.

LOCAL	Produtividade de grãos		Massa de cem grãos	
	Média	CV%	Média	CV%
E1	4521,9	13,1	15,8	10,6
E2	4047,4	13,1	17,0	6,2
E3	2506,9	14,7	10,2	7,6
E4	4365,3	15,2	15,9	10,0
E5	4397,7	14,6	19,7	14,6
E6	2888,5	10,3	10,8	7,4
E7	3320,4	12,3	10,3	11,2
E8	4376,9	14,3	13,9	7,2

Na análise de variância conjunta (Tabela 3), foi detectado efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) para genótipos, ambientes e para a interação de genótipos por ambiente (G x A) para as duas características avaliadas. Estes resultados significativos para as interações indicam que o desempenho dos genótipos varia de acordo com o local, o que dificulta as

recomendações (Costa et al., 2015). Este fato sugere a necessidade de identificar os genótipos que são adaptáveis e estáveis nos diferentes locais de cultivo (Gasura et al., 2015). Os CV obtidos na ANOVA conjunta, assim como os das análises individuais, apresentaram boa precisão experimental, 14,07% para PROD e 10,67 para MCG (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância conjunta para PROD e MCG para 46 genótipos de soja, avaliados nos oito ambientes.

FV	GL	QM	
		PROD	MCG
Ambiente	7	85258974,8**	1678,7**
Bloco / Ambiente	16	563379,3**	6,8**
Genótipo	45	3733579,4**	42,8**
Genótipos x ambientes	315	1654030,9**	31,3**
Resíduo	720	286190,9	2,3
Média		3803,1	14,2
CV		14,0	10,6

Para a identificação dos genótipos adaptados a locais específicos e/ou estáveis nos diferentes ambientes, foi utilizado o método GGE biplot. Esse método apresenta, em seus gráficos, os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2), derivados da decomposição dos valores singulares dos efeitos de genótipos (G) e da interação entre genótipos e ambientes (G x A).

O PC1 indica a adaptabilidade dos genótipos e se esta é correlacionada à característica avaliada (efeitos de G). PC2, por sua vez, indica a estabilidade do caráter, ou seja, genótipos com PC2 mais próximos de zero são os mais estáveis para a característica em estudo (G x A). A porcentagem aditiva da soma de PC1 e PC1 explica a significância total de  $G + G \times A$  (Yan et al., 2000).

Para a característica PROD, a decomposição aplicada aos efeitos de genótipo e interação G x A, considerando os dois primeiros PC, o biplot explicou 66,43% da variação total observada, sendo 49,69% explicados pelo primeiro componente principal (eixo 1), e 16,74% pelo segundo componente principal (eixo 2) (Figuras 2, 3 e 4). O percentual acumulado foi próximo à porcentagem mínima de explicação recomendada por Yan et al. (2000), que é de 70%. Resultados semelhantes foram descritos para dados pertencentes ao programa de melhoramento genético de soja da EMBRAPA, safra 2013/2014. Nesse

trabalho, o biplot explicou 61,34% da variação total observada, sendo 37,52% explicados PC1, e 23,82% pelo PC2 (Silva et al., 2022).

O resultado obtido para PROD, no trabalho atual, infere a confiabilidade na elucidação da variação total no desempenho dos genótipos estudados, juntamente com a interação dos ambientes, sendo importante assumir a existência de mega ambientes distintos em um mesmo local (Yan, 2015; Yan et al., 2000; Carvalho et al., 2021).

O gráfico “which-won-where” para PROD permitiu o agrupamento visual dos ambientes com base na interação G x A (Figura 2). As linhas tracejadas que partiram da origem do biplot (0, 0) dividiram o gráfico em setores e, a partir desse resultado, foram determinados os mega ambientes. Constituíram mega ambientes, os setores que continham dois ou mais dos ambientes em estudo (Yan et al., 2011 Yan, 2015). Foram observados nove setores para PROD, mas um único mega ambiente formado (Figura 2).

O mega ambiente formado pela PROD agrupou os ambientes E2, E3, E4, E5, E6 e E7, representados por Rio verde 2, Goiatuba, Rondonópolis, Paraúna, Alto Garças e Jataí, respectivamente. Como o Brasil é um país com vasta extensão territorial e mesmo regiões consideradas próximas podem estar sujeitas a uma grande variabilidade referente a fatores como tipo de solo, condições climáticas, altitude, latitude e longitude, utilizar uma metodologia que permite a estratificação ambiental, ou seja, encontrar similaridades no padrão de resposta dos genótipos ao longo de uma rede experimental tem sido importante no melhoramento de plantas.

Para a descrição dos setores e do mega ambiente foi gerado um polígono que conecta os genótipos que estão mais distantes da origem do biplot. Estes genótipos têm os maiores vetores em cada direção. O comprimento e o sentido do vetor simbolizam a extensão da resposta do genótipo para os ambientes avaliados, ou seja, o tamanho dos vetores e suas respectivas direções estão diretamente relacionados com a adaptabilidade de cada genótipo aos ambientes, dentro do mesmo setor. Assim, os genótipos no vértice do polígono têm melhor desempenho no ambiente que se enquadram nos setores. Já os genótipos dentro do polígono são menos responsivos que os genótipos do vértice (Yan, & Rajcan, 2002; Yan e Tinker, 2006).

Na Figura 2, os vértices do polígono foram formados pelos genótipos G32, G46, G1, G19, G12, G2, G7, G13 e G37, ou seja, esses foram os genótipos mais adaptados para cada setor em que se encontram, além de serem os que apresentaram maiores médias para a característica em estudo, nos ambientes que compõem o setor. Todos os outros

genótipos contidos dentro do polígono foram menos responsivos em relação à interação com os ambientes dentro daquele setor (Yan e Tinker, 2006; Gomes et al., 2019).

De tal forma, os genótipos G32 e G46, que se encontram nos vértices do mega ambiente formado para a característica PROD, apresentaram elevadas médias de produtividade nestes locais e são os mais adaptados ao mega ambiente formado por E2, E3, E4, E5, E6 e E7. A posição destes genótipos no polígono evidenciam que estes são cultivares superiores, o que indica a recomendação dos mesmos para esse grupo de ambientes. Além disso, essa informação pode auxiliar na otimização de estratégias de cruzamento nos programas de melhoramento genético de soja visando produtividade de grãos (Figura 2).

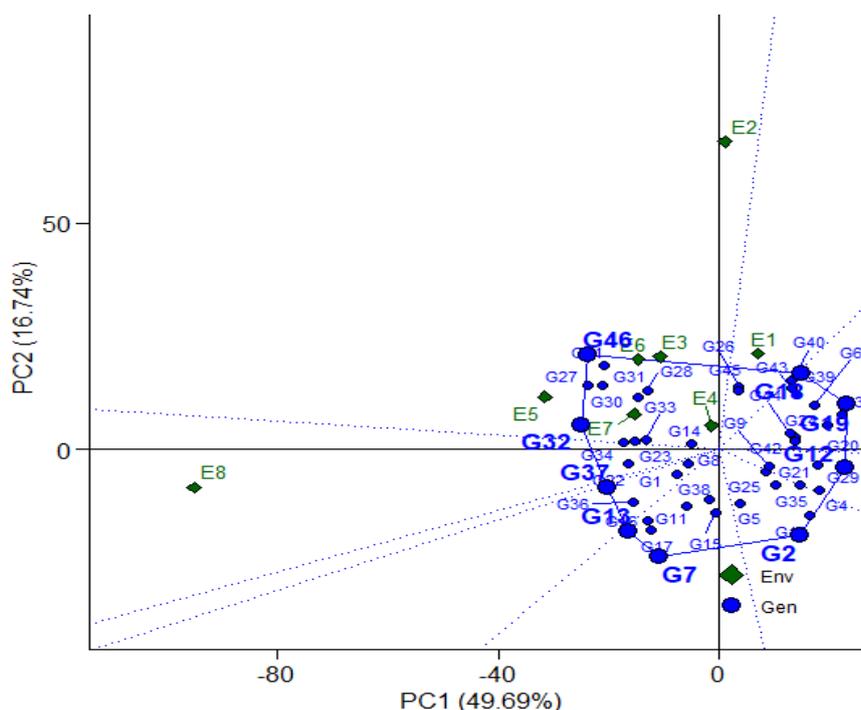
Já os setores representados por E1 e E8 não apresentam nenhum genótipo que possa ser classificado como favorável nestes ambientes. Além disso, genótipos que compõem um setor que não possui um ambiente são considerados desfavoráveis para os locais avaliados. Nesse sentido, estes genótipos possuem alguma adaptação específica e precisam ser avaliados com cuidado para fins de recomendação (Teodoro et al., 2016).

A identificação de genótipos que se destaquem em determinados mega ambientes é de grande importância, pois facilita a recomendação destes, uma vez que é possível prever o comportamento dos mesmos mediante as variações ambientais em condições específicas daquele grupo de ambientes.

A metodologia GGE biplot tem sido amplamente utilizada no Brasil e no cenário mundial da estratificação ambiental para a recomendação de genótipos de soja. Gonçalves et al. (2020) e Silva et al. (2022) utilizaram essa metodologia na avaliação de genótipos de soja nos estados do Maranhão e Piauí.

Gonçalves et al. (2020), em seu trabalho desenvolvido no Maranhão, chegaram a um genótipo com produtividade de grãos de 3.140,50 kg ha. Silva et al. (2022) desenvolveram o trabalho no Piauí; o rendimento de grãos das 10 melhores famílias foi maior para o método BulkF3 do que para o método Bulk. Estes resultados se assemelham aos resultados encontrados neste trabalho.

Dalló et al. (2019) avaliaram a formação de mega ambientes nos estados da região sul do Brasil e Taryono et al. (2022) estudaram o comportamento de genótipos de soja na Indonésia em condições de sequeiro, ambos com resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho.



**Figura 2.** "Which-won-where" PROD: Setores e mega ambientes obtidos pelos efeitos principais dos genótipos + interação genótipos e ambientes do modelo GGE biplot para PROD de 46 genótipos de soja, avaliados em oito ambientes.

O biplot “mean *versus* stability” busca encontrar o genótipo mais estável e com melhor média. As linhas verdes que partem da origem do biplot demonstram a média geral (eixo das ordenadas) e o eixo do ambiente médio (eixo das abcissas), sendo traçado em direção à média geral dos ambientes e definido pelas coordenadas médias de todos os ambientes testados no biplot, representada por uma seta (Yan et al., 2000; Yan et al., 2009).

Quanto maior o PC1, mais importante é o efeito do genótipo, consequentemente mais significativa é a seleção baseada na média do mesmo (Teodoro et al., 2016). Quanto maior a distância de projeção do genótipo em relação à linha, maior é a sua instabilidade (Yan, 2011).

Assim, os genótipos com melhor média de PROD e estáveis são aqueles que estão além da linha vertical que representa a média e que estão próximos da linha horizontal, que representa o ambiente médio. Estes genótipos foram: G46, G41, G28, G30, G14 e G8 (Figura 3). De forma geral, as médias destes indivíduos sempre foram maiores ou bem próximas da média geral de cada ambiente.

Destes indivíduos, vale destacar que G46, G41 e G30, na maioria dos ambientes, estavam classificados como o melhor grupo de médias, segundo o agrupamento de Scott-

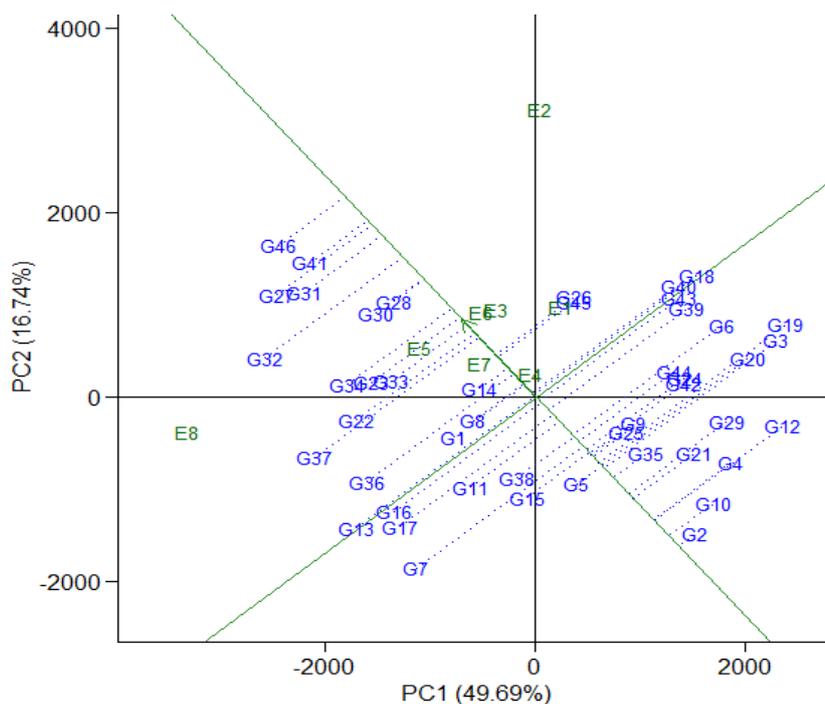
knott (Tabela 4), seis, cinco e cinco vezes, respectivamente. De maneira geral, o agrupamento de médias de Scott-knott confirma as interpretações observadas no biplot (Figura 3). Assim, os genótipos destacados acima apresentam boas médias e são estáveis. Por outro lado, o genótipo G32, por exemplo, apesar de possuir média alta para PROD, apresenta um comportamento instável (Figura 3 e Tabela 4).

A recomendação de genótipos estáveis também é de grande importância nos programas de melhoramento genético, destacando-se os genótipos cujo comportamento não sofre grandes variações nos diferentes ambientes. No entanto, a vasta extensão territorial do Brasil e as características edafoclimáticas peculiares de cada estado e/ou região dificultam esse tipo de recomendação devido à interação de genótipos por ambientes.

A interação do tipo simples não causa grandes problemas à recomendação das cultivares, pois não altera o ranking dos indivíduos. Por sua vez, uma interação complexa, devido à falta de correlação do desempenho do genótipo ao longo dos ambientes altera o ranqueamento (Cruz et al 2012).

Assim, a recomendação de um genótipo superior e estável não é tão simples. Uma estratégia é identificar indivíduos que sejam estáveis e com desempenho razoável em relação às características de interesse. Esse tipo de recomendação é indicado para produtores que não tenham muitos recursos para investir em subsídios a fim de melhorar a performance dos genótipos.

O desempenho dos mesmos não sofrerá grande variação mesmo que as condições fornecidas para seu desenvolvimento sejam mais favoráveis. Dessa forma, dentre o grupo de genótipos selecionados, G28 e G30 chamam a atenção como possíveis recomendações para a situação descrita acima, devido à sua alta estabilidade e a um potencial produtivo satisfatório.



**Figura 3.** “Mean versus stability” PROD: Média versus estabilidade, de acordo com o modelo GGE biplot para PROD de 46 genótipos de soja, avaliados em oito ambientes.

**Tabela 4.** Médias de PROD de soja avaliadas.

Genótipo	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
G1	3902,8b	3760,1b	2999,2b	4469,9b	3874,8c	3059,6b	3061,4c	5309,0b
G2	3557,9b	2949,8c	2273,8c	3813,2b	4152,5c	1786,9d	3170,7c	2955,4c
G3	4742,5a	4654,5a	2989,7b	4221,3b	2919,0d	2658,6b	3125,6c	2409,6c
G4	3733,5b	3759,6b	1935,4c	4536,1b	3616,6c	2357,5c	3038,3c	2740,7c
G5	4192,6b	3668,7b	2333,9c	3890,1b	3245,6d	1919,7d	3151,8c	4499,2b
G6	4954,7a	4804,4a	2218,7c	4134,1b	3989,9c	2946,3b	3006,9c	2703,7c
G7	3716,3b	2424,3c	2393,3c	4044,3b	4740,0b	2490,8c	3196,7c	5512,6b
G8	4694,5a	3875,2b	2210,4c	4320,0b	4889,1b	2823,7b	2699,0c	5015,4b
G9	4248,5b	3796,6b	2204,9c	4265,9b	4853,7b	2521,6c	3304,3c	3274,1c
G10	4653,7a	2903,7c	2256,4c	4500,4b	4579,9b	1571,1d	3206,6c	2730,0c
G11	4213,6b	3494,8b	2122,6c	3527,2b	4134,9c	2554,7c	2916,4c	5281,3b
G12	5372,9a	3800,8b	2092,3c	4481,9b	2374,0d	2691,4b	2756,2c	2723,7c
G13	3945,3b	2774,3c	2006,9c	4670,6b	4583,1b	3297,3a	3310,0c	6106,4a
G14	5104,8a	3857,5b	2406,5c	5010,0a	4454,4b	3388,6a	3319,5c	4899,8b
G15	4169,4b	3105,4c	1950,8c	4265,3b	4532,0b	2802,8b	3152,5c	4476,8b
G16	3175,1b	2958,9c	2895,3b	3925,5b	3948,9c	2990,3b	4915,4a	5561,7b
G17	4131,6b	2860,9c	2020,4c	5132,7a	4608,8b	3000,8b	2302,2c	5852,8a
G18	5513,2a	4997,0a	2862,3b	4507,4b	4199,2c	3047,0b	2942,2c	2858,4c
G19	4255,6b	4860,2a	2365,7c	5001,3a	3733,1c	2954,9b	3131,1c	2025,1c
G20	4320,4b	4635,9 <sup>a</sup>	2407,3c	3419,2b	3443,9d	2954,9b	3172,1c	2528,8c
G21	5317,9a	3025,7c	2342,3c	5434,8a	3937,3c	2768,8b	3111,6c	2988,5c
G22	4689,0a	3246,4c	2970,9b	5433,8a	5616,9 <sup>a</sup>	3332,9a	3737,2b	5623,0b
G23	4144,8b	4698,5a	2124,4c	5376,8a	3885,3c	2993,8b	3069,8c	6280,6a
G24	4067,3b	4183,3a	2759,8b	4365,5b	4161,6c	3067,0b	3071,7c	2869,6c

G25	4703,3a	3440,1b	2583,5c	4108,3b	4383,1b	2851,1b	3367,4c	3436,6c
G26	4117,7b	4910,8a	2541,2c	5281,9a	4825,7b	3912,8a	3114,8c	3673,3c
G27	4293,7b	5475,9a	2972,9b	4211,4b	4257,8c	3699,4a	2535,7c	7042,8a
G28	4946,0a	4818,8a	3295,3a	4357,0b	5029,3b	2843,6b	4136,5b	5460,7b
G29	4940,0a	3968,5b	1769,6c	4038,3b	3681,0c	2681,2b	2421,0c	2924,0c
G30	4702,9a	4702,5a	2481,9c	3702,8b	5516,1 <sup>a</sup>	3513,2a	4605,2a	5384,7b
G31	4274,4b	4969,1a	3290,6a	3403,8b	5296,6 <sup>a</sup>	3532,8a	4721,9a	6062,1a
G32	4904,6a	4201,9a	2979,8b	4177,1b	5174,7 <sup>a</sup>	3601,6a	3576,6c	6744,0a
G33	4311,4b	4472,0a	2134,4c	4013,0b	4695,6b	3011,6b	3816,0b	5705,8a
G34	4565,0a	4502,1a	2299,0c	3717,6b	4753,4b	2742,8b	3414,9c	6251,2a
G35	3644,4b	3705,8b	2730,5b	4168,9b	4475,4b	2125,3d	2728,7c	3340,2c
G36	5847,3a	2697,5c	2233,6c	4002,0b	5437,4 <sup>a</sup>	2779,3b	3503,3c	5878,7a
G37	5019,8a	2942,8c	2999,3b	5204,5a	4737,9b	3527,2a	3123,4c	6432,0a
G38	3634,5b	3337,0b	2174,9c	3655,0b	4148,2c	2913,2b	4730,4a	4393,5b
G39	5406,3a	4788,6a	2208,8c	3516,9b	4368,5b	3216,7a	3137,5c	2926,7c
G40	5830,7a	4685,2a	2680,4b	4203,0b	4826,9b	3116,3b	3142,0c	2823,9c
G41	3726,8b	5528,2a	3988,5a	3852,0b	5529,6a	3299,9a	2831,4c	6149,2a
G42	4685,2a	4322,7a	2173,1c	4366,3b	4230,7c	2114,5d	3568,2c	3033,1c
G43	4854,1a	4897,8a	3500,3a	4950,0a	3168,2d	2927,7b	3304,9c	3209,5c
G44	5014,6a	4553,4a	1410,2c	3486,6b	4651,1b	2755,2b	2541,4c	3184,1c
G45	4900,6a	4639,8a	2907,0b	6426,6a	4541,4b	3052,5b	3836,9b	3777,1c
G46	4866,7a	5522,6a	2819,7b	5213,5a	6089,4a	2673,9b	4711,8a	6278,6a

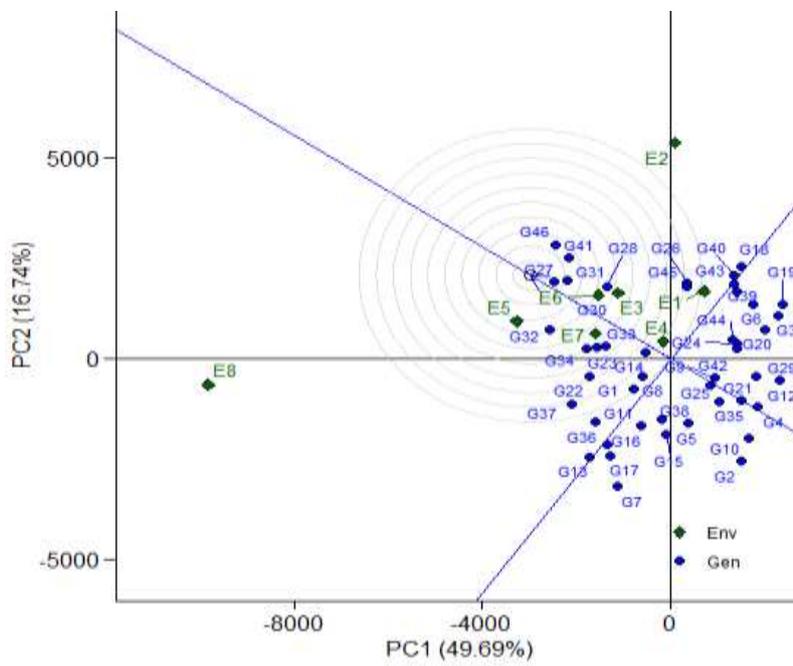
Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna agrupam-se pelo critério de Scott-knott, a 5% de probabilidade.

A Figura 4 “ranking genotypes” ilustra a posição dos genótipos avaliados em relação à estimativa de um genótipo hipotético ideal para a característica PROD nos ambientes testados. Este genótipo ideal é definido graficamente pelo vetor mais longo em PC1 e PC2 sem projeções, representados por um círculo (Yan, & Rajcan, 2002). Embora este seja um modelo representativo, ele é usado como referência para a avaliação dos genótipos estudados. Um genótipo é considerado promissor se ele estiver localizado o mais próximo possível do genótipo ideal hipotético. Quanto mais próximo, significa que ele apresenta parâmetros favoráveis de adaptabilidade (responsivos aos ambientes testados) e estabilidade fenotípica (maior previsibilidade de comportamento) (Yan, 2011).

Assim, o genótipo que apresentou um padrão mais próximo do ideal hipotético, em relação à PROD foi o G27, podendo destacar também G31, G32, G41 e G46. Ou seja, esses genótipos são capazes de aliar bom desempenho de produtividade de grãos à alta estabilidade ao longo dos ensaios.

Os genótipos representados por G41 e G46 são cultivares comerciais já utilizadas no mercado. Assim, já era esperado que elas apresentassem este potencial, uma vez que já passaram por vários ensaios com múltiplos ambientes durante as fases de

desenvolvimento. Em contrapartida, G27, que é um genótipo em estudo no presente trabalho, se destaca como um genótipo promissor a ser recomendado para as regiões avaliadas neste trabalho.



**Figura 4.** “Ranking genotypes” PROD: Modelo do GGE biplot comparando os genótipos avaliados com a estimativa de um genótipo ideal para PROD de 46 genótipos de soja, avaliados em oito ambientes.

Os gráficos gerados pelo método GGE biplot para a característica MCG apresentaram a soma dos dois primeiros componentes principais acima do valor de recomendação (70%) indicado por Yan et al. (2000), equivalente a 80,9% (Figuras 5, 6 e 7). Isso confirma a viabilidade da formação de mega ambientes por esta metodologia.

O biplot “which-won-where” para MCG foi constituído de 11 setores (Figura 5). A divisão do gráfico em setores identificou a formação de dois mega ambientes. O primeiro foi formado pelos ambientes E3, E6 e E8, representados por Goiatuba, Alto Garças e Montividiu, respectivamente. O segundo foi formado por E1, E2, E4, E5 e E7 representados por Rio Verde 1, Rio Verde 2, Rondonópolis, Paraúna e Jataí, respectivamente.

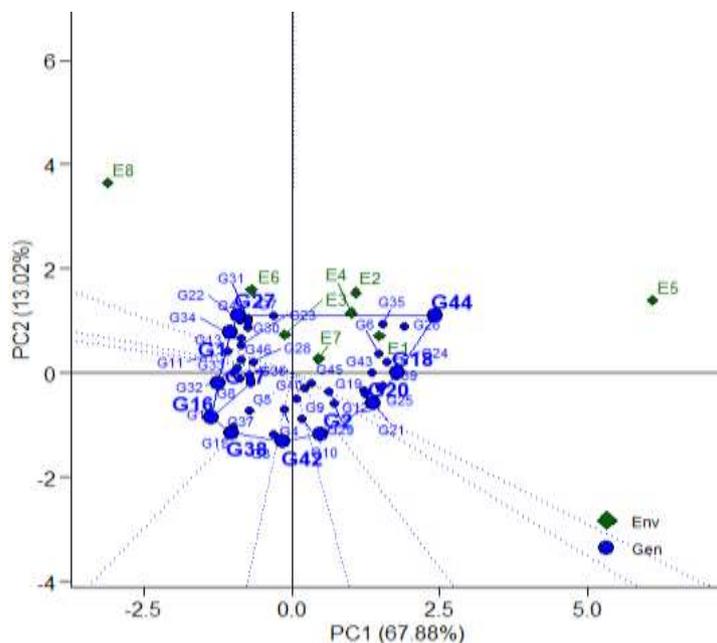
Vale ressaltar que, na avaliação da PROD, o ambiente E8, Montividiu, estava em um setor que só englobava esse ambiente, estando alocado isolados dos demais. Na avaliação de MCG, E3 e E6, Goiatuba e Alto Garça, incorporaram-se ao setor ocupado por E8, formando um novo mega ambiente. Por sua vez, o ambiente E1, Rio Verde 1, que

na avaliação para PROD ocupou um setor isolado, agora pertence ao grupo definido como o segundo mega ambiente (Figura 5).

É possível destacar os genótipos G1 e G27 como os mais adaptados ao mega ambiente formado pelos locais E3, E6 e E8 e G44, G18 e G20 com maior adaptabilidade ao mega ambiente formado por E1, E2, E4, E5 e E7 (Figura 5). Isso porque estes genótipos se localizam nos vértices do polígono formado, representando os genótipos mais responsivos nos ambientes testados que estão presentes nos respectivos setores (Yan & Tinker, 2006; Gomes et al., 2019).

Os genótipos G2, G42, G38, G16 e G17 se encontraram em setores sem ambientes, ou seja, representam genótipos desfavoráveis aos locais avaliados (Figura 5) (Teodoro et al., 2016). Possivelmente esses genótipos apresentam alguma adaptação específica a um ambiente não mensurado neste trabalho em relação à característica MCG.

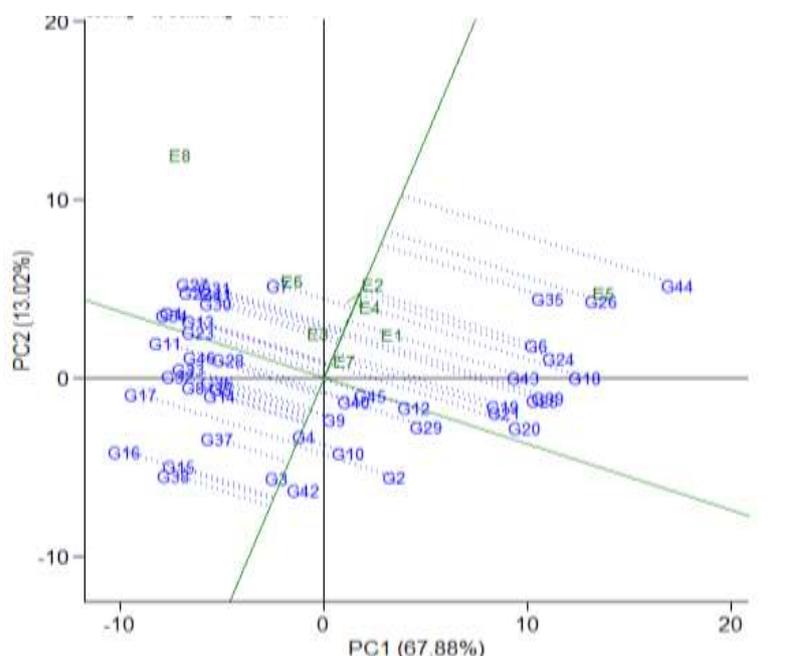
O genótipo G1 também compôs o vértice do polígono na avaliação de PROD com uma adaptabilidade específica ao ambiente E1. E o indivíduo G27 se destacou como genótipo próximo ao genótipo hipotético ideal para PROD. O fato de as duas características avaliadas (PROD e MCG) serem correlacionadas aliadas a essas informações reforça a importância destes dois genótipos na recomendação para o grupo de ambientes formado.



**Figura 5.** "Which-won-where" MCG: Setores e mega ambientes obtidos pelos efeitos principais dos genótipos + interação genótipos e ambientes do modelo GGE biplot para MCG de 46 genótipos de soja, avaliados em oito ambientes.

Ao avaliar o biplot “mean *versus* stability” (Figura 6), foi importante observar os genótipos que apresentaram médias elevadas para MCG e que se mostraram estáveis, ou seja, apresentaram menor projeção em relação ao eixo das abscissas (Yan et al., 2000; Yang et al., 2009). Dessa forma, o genótipo G7 se destacou por apresentar boa relação entre média e estabilidade. Essa evidência foi corroborada pelo agrupamento de médias Scott-knott (Tabela 5), em que é possível observar que este genótipo sempre ocupou o primeiro terço dos melhores indivíduos, com exceção do ambiente E2 e E3, em que o genótipo G7 não está entre os 10 melhores indivíduos (Figura 6).

Outros genótipos interessantes de se destacar foram G44, G26 e G35. Ambos apresentaram ótimas médias para MCG, no entanto foram altamente instáveis. Ao avaliar a tabela com o agrupamento de médias Scott-Knott, foi possível observar essa instabilidade. Em alguns ambientes, esses genótipos foram classificados com elevadas médias (Tabela 5). No entanto, em outros ambientes, eles apresentaram um desempenho significativamente inferior. As altas projeções observadas por esses genótipos reforçam a dificuldade de uma recomendação geral para vários ambientes devido à interação G x A de natureza complexa (Cruz et al., 2012).



**Figura 6.** “Mean *versus* stability” MCG: Média *versus* estabilidade de acordo com o modelo GGE biplot para MCG de 46 genótipos de soja avaliados em oito ambientes.

**Tabela 5.** Médias de MCG de soja avaliadas.

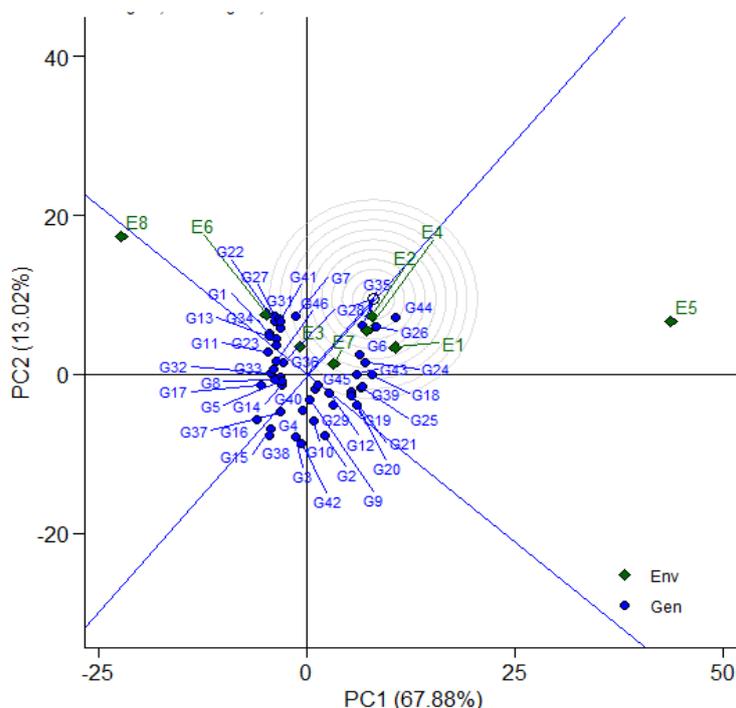
Genótipo	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
G1	13,4d	16,4d	11,9b	15,6d	14,9d	14,9a	8,7c	19,3a
G2	15,6c	16,1d	9,8d	14,0e	21,4c	7,1e	9,4c	8,8f
G3	16,6b	17,2d	11,0c	16,5c	14,0d	8,5e	9,8c	9,2f
G4	14,2c	18,2e	10,3d	16,9c	16,6d	11,3d	10,5b	10,1f
G5	14,1c	16,5d	10,4d	16,0d	15,3d	8,1e	9,2c	16,6b
G6	21,0a	19,7b	10,3d	17,1c	28,2b	11,2d	11,3b	10,3f
G7	16,6b	18,9c	12,2b	16,5c	19,1c	11,9c	11,1b	18,9a
G8	14,6c	16,5d	11,2c	13,6e	14,5d	10,1d	7,4d	16,7b
G9	15,4c	16,4d	11,2c	19,0c	18,0c	13,4b	11,2b	9,5f
G10	16,9b	16,0d	11,5c	18,2c	18,1c	7,6e	10,7b	9,7f
G11	15,2c	13,8e	10,7c	14,9d	14,6d	12,2c	8,9c	19,7a
G12	18,1b	17,5c	10,0d	17,7c	22,0d	9,4d	9,1c	10,4f
G13	14,3c	15,5d	9,2e	16,0d	16,2d	13,0b	8,7c	19,6 <sup>a</sup>
G14	15,4c	15,5d	9,4e	15,8d	14,9d	11,5c	8,3d	15,3c
G15	13,0d	13,8e	9,2e	12,0e	13,0d	9,5d	10,2c	14,0d
G16	11,9d	13,2e	9,2e	11,0e	11,5d	10,2d	10,8b	16,0c
G17	13,7d	14,0e	10,2d	14,5d	12,5d	11,6c	6,9d	17,5b
G18	18,5 a	17,5c	9,5e	20,0b	30,4b	9,6d	10,0c	8,5f
G19	13,8d	15,8d	10,3d	16,4c	28,4b	10,0d	10,0c	9,6f
G20	16,9b	15,4d	8,8e	13,0e	29,1b	9,3d	10,5b	9,0f
G21	15,5c	16,5d	9,3e	16,8c	27,6b	9,7d	9,5c	9,1f
G22	15,0c	15,8d	13,6a	17,7c	15,9d	13,3b	9,3c	20,1a
G23	14,2c	15,5d	9,9d	17,5c	15,5d	12,1c	9,7c	18,9a
G24	17,6b	18,2c	10,7c	17,5c	30,3b	10,4d	11,3b	9,9f
G25	15,6c	16,7d	9,1e	13,5e	30,5b	9,4d	10,7b	9,9f
G26	18,0b	21,3a	9,6d	18,2c	32,6a	13,2b	11,2b	10,7f
G27	15,6c	19,6b	10,0d	15,8d	15,3d	15,6a	7,6d	19,6a
G28	15,5c	19,9b	10,7c	15,2d	14,5d	10,5d	14,3a	16,1c
G29	19,4a	18,0c	9,6d	13,4e	22,6c	9,7d	10,2c	9,5f
G30	17,1b	16,7d	10,7e	15,9d	16,0d	12,6b	13,5a	19,5a
G31	16,7b	19,6b	13,2a	15,0d	15,5d	13,0b	14,0a	19,3a
G32	14,8c	15,6d	10,2d	13,4e	14,0d	12,7b	9,1c	17,1b
G33	13,1d	16,4d	9,5e	13,7e	14,8d	11,1d	12,7a	17,8b
G34	13,9d	15,7d	10,1d	14,4d	15,7d	11,0d	10,2c	21,4a
G35	19,4a	22,5a	12,0b	21,9a	28,3b	8,6e	13,3a	11,9e
G36	15,9c	18,2c	7,9e	14,3d	14,6d	10,1d	10,7b	16,3c
G37	12,2d	13,3e	7,9e	14,1e	15,9d	9,7d	7,1d	15,0c
G38	11,0d	12,8e	9,1e	13,2e	12,6d	12,1c	12,7a	12,6e
G39	18,1b	17,4c	8,7e	13,3e	29,8b	9,9d	11,9b	9,4f
G40	19,7 a	20,3b	10,2d	18,1c	17,5c	10,4d	11,3b	10,3f
G41	13,6d	18,4c	10,0d	16,2d	17,0d	14,5a	8,1d	19,5a
G42	15,9c	16,0d	9,2e	14,9d	16,0d	10,1d	9,4c	8,5f
G43	16,8b	17,9c	11,4c	14,9d	29,0b	10,0d	10,5b	10,2f
G44	19,8 a	20,9a	9,8d	20,0b	36,2a	10,1d	11,2b	11,0f

G45	16,5b	18,2c	11,4c	23,0a	18,8c	8,6e	12,4a	10,7f
G46	14,8c	16,0d	11,4c	13,9e	15,5d	9,7d	9,4c	18,6a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, agrupam-se pelo critério de Scott-knott, a 5% de probabilidade,

Os genótipos G26, G35 e G44 foram os que se localizam mais próximo do ideal para MCG, indicando que estes apresentam maior capacidade de adaptação para a característica nos ambientes de cultivo desta cultura (Figura 7). É importante destacar que, mesmo apresentando alta instabilidade, como mostrado na figura 6, as estimativas de médias destes indivíduos foram extremamente altas, na maioria dos casos para MCG, configurando-se na devida recomendação destes genótipos.

O genótipo representado por G44 é uma cultivar comercial e, dessa forma, a sua recomendação é esperada, uma vez que aquele já passou pelas etapas de desenvolvimento em um programa de melhoramento genético. Apesar de não formarem os vértices na primeira análise (figura 5), G26 e G35 também se destacaram como genótipos próximos aos vértices do polígono, além de apresentarem elevadas médias. Tais observações reforçam a proximidade destes genótipos com o genótipo hipotético ideal, fazendo com que os mesmos sejam considerados importantes nos programas de melhoramento genético de soja visando a recomendação para essas regiões.



**Figura 7, “Ranking genotypes” MCG:** Modelo do GGE biplot comparando os genótipos avaliados com a estimativa de um genótipo ideal, para MCG de 46 genótipos de soja, avaliados em oito ambientes,

## 5. CONCLUSÕES

Foi identificado um mega ambiente, na análise para PROD, composto por Rio Verde 2 (E2), Goiatuba (E3), Rondonópolis (E4), Paraúna (E5), Alto Garças (E6) e Jataí (E7). Para MCG, por sua vez, dois mega ambientes foram formados. Os locais agrupados no primeiro mega ambiente foram Goiatuba (E3), Alto Garças (E6) e Montividiu (E8). Os locais Rio Verde1 (E1), Rio Verde2 (E2), Rondonópolis (E4), Paraúna (E5) e Jataí (E7) formaram o segundo mega ambiente.

Os genótipos G32 e G46 foram aqueles que apresentaram maior adaptabilidade ao mega ambiente formado pela característica PROD. Por sua vez, a recomendação quanto aos mais adaptados ao primeiro mega ambiente, formado na avaliação de MCG, foram G1 e G27 e os genótipos G44, G18 e G20 foram os mais responsivos no segundo mega ambiente dessa característica.

Os genótipos G46, G41, G28, G30, G14 e G8 apresentaram boas médias e foram estáveis para PROD. Para MCG, aquele que apresentou boa relação quanto à média e estabilidade foi G7.

Os genótipos G27, G31, G32, G41 e G46 foram os que mais se aproximaram de um genótipo hipotético ideal, reunindo adaptabilidade e estabilidade na avaliação da característica PROD. Por sua vez, aqueles que se destacaram para uma recomendação geral para MCG foram G26, G35 e G44.

## REFERÊNCIAS

- Albuquerque, J, R,T, et al, 2022**, Adaptability and stability of soybean (*Glycine max* L,) genotypes in semiarid conditions, *Euphytica*, v, 218, n, 5, p, 1-12,
- Almeida, H,C, et al, 2021**, Adaptability and stability of soybean cultivars in the region of Chapadões, *Revista Ceres*, v, 68, p, 326-332,
- Annicchiarico, P. (1992)**. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. *Agronomy Journal*, 84(6), 937-943.
- Azevedo, C,V,G, et al, 2020**, Genetic parameters of soybean populations obtained from crosses between grain and food genotypes, *Acta Scientiarum, Agronomy*, v, 43, e46968,
- Bergamin, M.; Cancian, M. A. E.; Castro, P. R. C.** Soja (*Glycine max* (L.) Merril. p. 73-89. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. *Ecofisiologia de cultivos anuais: trigo, milho, soja, arroz, mandioca*. São Paulo. Nobel, 199. 126p
- Bernardo, R.; Yu, J, 2007**, Prospects for genomewide selection for quantitative traits in maize, *Crop Science*, v, 47, n, 3, p, 1082–1090,
- Bisinotto, F,F, 2013**, Correlações entre caracteres como critério de seleção indireta, adaptabilidade e estabilidade em genótipos de soja, *Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia*,
- Bornhofen, E.; Benin, G.; Storck, L.; Woyann, G.; Duarte, T.; Stoco, M,G; Marchioro, S,V, 2017**, Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade em trigo, *Bragantia*, v, 76, n, 1, p, 1-10,
- BRASIL, 2012**, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de feijão para inscrição no registro nacional de cultivares – RNC,
- Brogin, C,R,L; Arias, C,A,A; de Toledo, J,F,F, 2003**, Genetic control of soybean resistance to brown spot (*Septoria glycines*): first studies, *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v, 3, p,1,

**Butler, D, et al, 2009**, Analysis of Mixed Models for S-language Environments: ASReml-R Reference Manual, Queensland: Queensland Government,

**Carneiro, A,K, et al, 2019**, Stability analysis of pure lines and a multiline of soybean in different locations, Crop Breeding and Applied Biotechnology, v,19, n,4, p,395–401,

**Carter, T,Jr; Hymowitz, T; Nelson, R, 2004**, Biogeography, local adaptation, Vavilov, and genetic diversity in soybean, In: D Werner, ed, Biological resources and migration, Berlin, Germany: Springer, 47– 59,

**Carvalho, I,R, et al, 2022**, Methods for estimation of genetic parameters in soybeans: an alternative to adjust residual variability, Acta Scientiarum, Agronomy, v, 45,

**Carvalho, M,P,; Nunes, J,A,R,; Carmo, E,L,D,; Simon, G,A,; Moraes, R,N,O, 2021**, Adaptability and stability of conventional soybean by GGE biplot analysis, Pesquisa Agropecuária Tropical, v,51,

**Casas-Leal, N,E; Pereira, F,A,C,; Vello, N,A, 2022**, Improvement of vegetable soybean: genetic diversity and correlations of traits between immature and mature plants, Crop Breeding and Applied Biotechnology, v, 22,

**Cattelan, A,J,; Dall'agnol, A, 2018**, The rapid soybean growth in Brazil.

**Chaves, L.J.** Interação de genótipos com ambientes. In.: NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES-INGLIS, M.C. (eds.) Recursos genéticos e melhoramento - Planta. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 673 713.

**CONAB, 2018**, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, Os resultados da safra 2017/18: A receita bruta e líquida operacional dos produtores de algodão, amendoim e soja, Brasília, DF: Conab, 2018,

**CONAB, 2020**, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, Acompanhamento da safra brasileira de grãos, safra 2019/20, Brasília, DF: Conab, 2020,

**CONAB, 2021**, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, Acompanhamento da safra brasileira de grãos, safra 2020/21, Brasília, DF: Conab, 2020,

**Costa, A,F, et al, 2015**, Adaptability and stability of strawberry cultivars using a mixed

model, *Acta Scientiarum - Agronomy*, v, 37, n, 4, p, 435–440.

**Costa, M,M, et al, 2004**, Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja, *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v, 39, p, 1095-1102.

**Cruz, C,D, 2013**, GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics, *Acta Scientiarum, Agronomy*, v, 35, n, 3, p, 271–276, 11 jul,

**Cruz, C,D,; Carneiro, P,C,S,; Regazzi, A,J, 2014**, Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético, 3, ed, [s,l.] Viçosa, MG: UFV,

**Cruz, C,D,; Regazzi, A,J,; Carneiro, P,C,S, 2012**, Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético, 4, ed, Viçosa, MG: UFV,

**Cruz, C. D., & Carneiro, P. C. S.** (2003). Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, MG: Editora UFV.

**da Silva Junior, C,A, et al, 2020**, Mapping soybean planting area in midwest Brazil with remotely sensed images and phenology-based algorithm using the Google Earth Engine platform, *Computers and electronics in agriculture*, v, 169, p, 105194,

**Dalló, S,C,, et al, 2019**, Across year and year-by-year GGE biplot analysis to evaluate soybean performance and stability in multi-environment trials, *Euphytica*, v, 215, p, 1-12,

**de Souza, M,H, et al, 2020**, Adaptability and stability analyses of plants using random regression models, *PloS one*, v, 15, n, 12, p, e0233200,

**Diers, B. W.; Specht, J.; Rainey, K. M.; Cregan, P.; Song, Q.; Ramasubramanian, G. G.; Nelson R.; Schapaugh W.; Wang D. Shannon, G.; Mchale, L.; Kantartzi S. K.; Xavier, A.; Mian R.; Stupar, R. M.; Michno, J. M.; Charles, Y. Q.; Goettel, W.; Ward R.; Fox C.; Lipka, A. E.; Hyten, D.; Cary, T.; Beavis, W.** Genetic architecture of soybean yield and agronomic traits. G3: Genes|Genomes|Genetics. Orlando, 2018.

**Eberhart, S,A,; Russell, W,A, 1966**, Stability Parameters for Comparing Varieties1, *Crop Sci*, 1966; 6: 36,

**Eberhart, S. A., & Russell, W. A.** (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36-40.

**Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – Embrapa Soja.** Soja em números (safra 2010/2011). 2011.

**Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária - Embrapa.** Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição animal. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 148 p.

**Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária - Embrapa.** Política e Legislação. Londrina: Embrapa Soja, 2021.

**Falconer, D. S., & Mackay, T. F.** (1996). *Introduction to Quantitative Genetics* (4th ed.). Harlow, England: Longman.

**Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C.** (1996). *Introduction to quantitative genetics*. Harlow: Longmans.

**Farias Neto, J,T,; Vello, N,A, 2001,** Avaliação de progênies F4:3 e F5:3 e estimativas de parâmetros genéticos com ênfase para porcentagem de óleo, produtividade de grãos e óleo em soja, *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v, 25, p, 812-820,

**Finlay, K,; Wilkinson, G, 1963,** The analysis of adaptation in a plant-breeding programme, *Aust J Agric Res*, 1963; 14: 742,

**Freitas, Eduardo de.** Expansão da Soja no Brasil; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/a-expansao-soja-no-brasil.htm>. Acesso em 05 de abril de 2024.

**Gasura, E,; Setimela, P,S,; Souta, C,M, 2015,** Evaluation of the performance of sorghum genotypes using GGE biplot, *Canadian Journal of Plant Science*, v, 95, n, 6, p, 1205–1214,

**Gauch, H. G.** Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, Madison, v. 46, n. 4, p. 1488-1500, 2006.

**Gavioli, E,A, 2013,** Explanation for the rise of soybean in Brazil, IntechOpen, London,

**Gomes, L,R,R, et al, 2019,** Performance agronômica de híbridos de sorgo granífero estimada pelo método GGE biplot, *Colloquium Agrariae*, v, 15, n, 5, p, 42–56,

**Gonçalves, G,D,M,C, et al, 2020**, Adaptability and yield stability of soybean genotypes by REML/BLUP and GGE Biplot, *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v, 20,

**Kim, M,Y,; Van, K,; Kang, Y,J,; Kim, K,H,; Lee, S,H, 2012**, Tracing soybean domestication history: from nucleotide to genome, *Breeding Science* 61: 445–452,

**Lacerda Filho, A. F.; Demito, A.; Volk, M. B. S.** Qualidade da soja e acidez do óleo. 2008. (Nota Técnica).

**Lynch, M., & Walsh, B.** (1998). *Genetics and Analysis of Quantitative Traits*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.

**Marquete, O.** 1981. Anatomia e vascularização foliar e floral de *Pilocarpus organensis* Occhioni & Rizzini (Rutaceae). *Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro* 25:117-159.

**Mederos-Ramirez, A, et al, 2021**, Analysis of the genotype environment interaction in the of soybean crop (*Glycine max* (L) Merrill), *Cultivos Tropicais*, v, 42, n, 1, p, NA-NA,

**Pimentel-Gomes, F,; Garcia, C,H, 2002**, Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos, Piracicaba, SP: FEALQ,

**Pipolo. A.E.** Desenvolvimento de germoplasma e cultivares de soja. Embrapa Paraná. 2007.

**Priolli, R,H,G, et al, 2004**, Diversidade genética da soja entre períodos e entre programas de melhoramento no Brasil, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v, 39, n, 10, p,967-975,

**Rani, A,; Kumar, V, 2022**, Soybean breeding, In: *Fundamentals of Field Crop Breeding*, Springer, Singapore, p, 907-944,

**Sedivy, E,J,; Wu, F,H,; Yoshie, 2017**, Soybean domestication: the origin, genetic architecture and molecular bases, *New Phytologist*, v, 214, n, 2, p, 539-553,

**Sediyama, T,; Swearingin, M,L, 1970**, Cultura da soja, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 77p,

**Silva, C,M,D, 2018**, Between fenix and ceres: The great acceleration and the agricultural frontier in the brazilian cerrado, *Varia História*, v, 34, n, 65, p, 409–444,

**Silva, F,M,Da, et al, 2018**, Strategies to select soybean segregating populations with the goal of improving agronomic traits, *Acta Scientiarum Agronomy*, v, 40, n, 1, p, e39324,

**Silva, W,J,D,S, et al, 2022**, Yield of soybean genotypes identified through GGE biplot and path analysis, *Plos one*, v, 17, n,10, e0274726,

**Taryono, et al, 2022**, Soybean crop rotation stability in rainfed agroforestry system through GGE Biplot and EBLUP, *Agronomy*, v, 12, n, 9,

**Teodoro, P,E, et al, 2016**, Identification of sorghum hybrids with high phenotypic stability using GGE biplot methodology, *Genetics and Molecular Research*, v, 15, n, 2, p, 1–8,

**USDA, 2019**, UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE,

**Visscher, P. M., Brown, M. A., McCarthy, M. I., & Yang, J. (2012)**. Five Years of GWAS Discovery. *American Journal of Human Genetics*, 90(1), 7–24.  
<https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2011.11.029>

**Yan, W, 2011**, GGE biplot vs, AMMI graphs for genotype-by-environment data analysis, *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, v, 65, n, 2, p, 181–193,

**Yan, W, 2015**, Mega-environment analysis and test location evaluation based on unbalanced multiyear data, *Crop Science*, v, 55, n, 1, p, 113-122,

**Yan, W, et al, 2000**, Cultivar Evaluation and Mega-Environment Investigation Based on the GGE biplot, *Crop Science*, v, 40, n, 3, p, 597–605,

**Yan, W,; Rajcan, I, 2002**, Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario, *Crop Science*, v, 42, n, 1, p, 11–20,

**Yan, W,; Tinker, N,A, 2006**, Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications, *Canadian Journal of Plant Science*, v, 86, n, 3, p, 623–645,

**Yang, M,H; Mohamed, Z,Z,J; He, J; Dom, R; Hofmann, R; Siddique, K,H,M; Li, F,M, 2020**, Effect of traditional soybean breeding on water use strategy in arid and semi-arid areas, *European Journal of Agronomy*, 120,

**Yang, R, et al, 2009**, Biplot analysis of genotype  $\times$  environment interaction: Proceed with caution, *Crop Science*, v, 49, n, 5, p, 1564–1576,

**Zhou, Z, et al, 2015**, Resequencing 302 wild and cultivated accessions identifies genes related to domestication and improvement in soybean, *Nature Biotechnology* 33: 408–414,