

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE GENÓTIPOS DE SOJA
PELO MÉTODO AMMI**

por

JULIANA GIMENES DE MORAES

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 obtenção do grau de Mestre em Bioenergia e Grãos.

RIO VERDE – GO

OUTUBRO – 2023

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE GENÓTIPOS DE SOJA
PELO MÉTODO AMMI**

por

JULIANA GIMENES DE MORAES

Comitê de Orientação:

Orientador, Prof. Dr. Pablo Diego Silva Cabral – IF GOIANO – Campus Rio Verde

RIO VERDE – GO

OUTUBRO – 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

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

M827a Moraes, Juliana
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE
GENÓTIPOS DE SOJA PELO MÉTODO AMMI / Juliana Moraes;
orientador PABLO DIEGO SILVA CABRAL. -- Rio Verde,
2024.
45 p.

Dissertação (Mestrado em Mestrado de Pós-Graduação
em Bioenergia e Grãos) -- Instituto Federal Goiano,
Campus Rio Verde, 2024.

1. AMMI. 2. Adaptabilidade e estabilidade. 3.
Genótipos de soja. I. DIEGO SILVA CABRAL, PABLO,
orient. II. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 n°2376

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

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

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |
| <input type="checkbox"/> Produto técnico e educacional - Tipo: _____ | |

Nome completo do autor:

Feliana Gumes de Moraes

Matrícula:

Título do trabalho:

Adaptabilidade e Estabilidade Fenotípico de Genótipos
de Soja pelo Método AMM1

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 15/01/24

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 incluídos 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.

Rio Verde
Local

15/01/24
Data

Jayul
Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



Documento assinado digitalmente
PABLO DIEGO SILVA CABRAL
Data: 15/01/2024 10:16:17 -0300
Verifique em <https://validar.if.gov.br>

ATA DE DEFESA



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

Ata nº 109/2023 - SREPG/CMPR/CPG-RVIDPGI-RV/CNPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

ATA Nº 69 (SESSENTA E NOVE) BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos dezessete dias do mês de novembro do ano de dois mil e vinte e três, às 08h30min (Oito hora e trinta minutos), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada de forma virtual, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **JULIANA GIMENES DE MORAES**, discente do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pela presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Fábio Diego da Silva Cabral, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A seguir, a seguir, foi concedida à autora 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 do entrega na secretaria do PPGSG 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 artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidente 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

Nome	Instituição	Situação no Programa
Fábio Diego da Silva Cabral	IF Goiano - Campus Rio Verde	Presidente
Junílo Rabin Neto	IF Goiano - Campus Rio Verde	Membro interno
Bruna de Almeida Sousa	GOM - Genética do Brasil	Membro externo

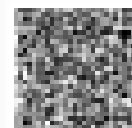
Documento assinado eletronicamente por:

- Bruno de Almeida Soares, Bruno de Almeida Soares - Professor Assessor de Banca - (São Geraldo de Brazil S. a (CPF07166000194), em 17/11/2023 11:08:48.
- Aurelio Baldo Neto, PROFESSOR DE MATEMÁTICA TECNOLÓGICA, em 17/11/2023 11:09:44.
- Felipe Diego Silva Cabral, PROFESSOR EM MATEMÁTICA TECNOLÓGICA, em 17/11/2023 11:03:00.

Este documento foi emitido pelo SURF em 10/11/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou visite o site: https://portal.fgma.br/portal/autenticar_documento/ e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 548503

Código de Autenticação: c75ea8803e



INSTITUTO FEDERAL GOIÁS
Campus Pilo Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural 01, Zona Rural, RIO MARIZ (GO), CEP 75800-870
(61) 3624-1000

DEDICATÓRIA

A Deus e à Nossa Senhora. Em memória de meus pais, Ivone e Luiz Fernando. Nada eu conseguiria se não fosse por vocês.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus e à Nossa Senhora por terem me sustentado até aqui, firme e forte, me abençoado com pessoas incríveis que estiveram sempre ao meu lado.

Em memória dos meus pais, Ivone e Luiz Fernando, que me deixaram há pouco tempo e que são os que mais merecem este presente. Com muito esforço e dedicação me deram amor, estudo e, hoje, me deixaram uma saudade imensa. É por vocês e para vocês.

À minha tia-mãe Lena, que está todos os dias me dando forças para seguir em frente, com muito amor e carinho. Ao meu noivo Luís, que passa por todas as fases ao meu lado, sempre com paciência e carinho. Eu amo vocês.

Aos meus amigos da vida e de trabalho da GDM, que me incentivaram a iniciar este projeto e que hoje são meus irmãos para a vida inteira: o meu muito obrigada.

À Cereal Ouro, por me apoiar na finalização deste projeto.

Aos professores Pablo e Aurélio, por me orientarem de forma exímia na condução desta dissertação.

Ao IF Goiano, as minhas sinceras saudações.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
2	REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1	Características botânicas, morfológicas e estágios de crescimento da soja	6
2.2	Origem da Soja	9
2.3	Importância econômica e produção da soja	11
2.4	Melhoramento de Soja no Brasil	12
2.5	Interação Genótipo x Ambiente	14
2.6	Adaptabilidade e Estabilidade	16
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4	RESULTADO E DISCUSSÃO	23
5	CONCLUSÃO	30
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

RESUMO

A cultura da soja é de extrema relevância para a economia brasileira, com uma produção de 154 milhões de toneladas em 2022. Dessa maneira, é necessário que as cultivares desempenhem a melhor performance para alcançar máxima a produtividade. Seu desempenho é definido pelo conjunto de genes presentes e pela interação genótipo x ambiente. Portanto, estudos de adaptabilidade e estabilidade garantem segurança no processo de seleção de genótipos superiores no melhoramento de soja. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a adaptabilidade e a estabilidade de 46 diferentes genótipos de soja em 7 municípios localizados na região sul do estado de Goiás e do Mato Grosso. O experimento foi conduzido em 7 localidades e com avaliação de 46 genótipos de soja quanto à massa de 100 grãos e produtividade (kg. ha⁻¹). Ao detectar interação significativa G x A, analisou-se a adaptabilidade e estabilidade fenotípica pelo método AMMI, que integra fatores aditivos para efeito primário de genótipos e ambientes e fatores multiplicativos. Foi observado alto nível de significância na interação G x A para produtividade e massa de 100 grãos e, pela análise AMMI, as localidades de Alto Garças e Jataí apresentaram estabilidade no quesito produtividade juntamente com os genótipos G2, G5 e G35 e Rio Verde 2 e Jataí para massa de 100 grãos, em conjunto com G4, G9 e G42. Os genótipos G9 e G28, além de estáveis, se destacaram em produtividade. Além disso, Jataí se destacou como mais confiável para recomendação de cultivares. O método AMMI é um método prático para avaliar genótipos adaptados e estáveis em cada ambiente e para garantir segurança nas recomendações.

ABSTRACT

Soybean cultivation is extremely important for the Brazilian economy, with production of 154 million tons in 2022. Therefore, it is necessary for cultivars to perform at their best to achieve maximum productivity. Its desire is defined by the set of genes present and by the genotype x environment interaction, therefore, adaptability and stability studies guarantee security in the process of selecting superior genotypes in soybean breeding. In this sense, the objective of this work is to evaluate the adaptability and stability of 46 different soybean genotypes in seven municipalities located in the southern region of the state of Goiás and Mato Grosso. The experiment was conducted in 7 locations and evaluated 46 soybean genotypes regarding the mass of 100 grains and productivity (kg.ha⁻¹). When detecting a significant G x A interaction, phenotypic adaptability and stability are analyzed using the AMMI method, which integrates additive factors for the primary effect of genotypes and environments and multiplicative factors. A high level of significance was observed in the G x A interaction for productivity and mass of 100 grains and by AMMI analysis the locations of Alto Garças and Jataí combined with stability in terms of productivity together with the genotypes G2, G5 and G35 and Rio Verde 2 and Jataí for 100 grain mass, in sets with G4, G9 and G42. The G9 and G28 genotypes, in addition to their results, stood out in terms of productivity. In addition, Jataí stood out as the most reliable for recommending cultivars. AMMI method is essential to evaluate adapted genotypes and results in each environment and ensure safety in recommendations

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine Max L*) produziu, em âmbito mundial, um total de 369.029 milhões de toneladas numa área estimada de 136.029 milhões de hectares (USDA/PSD, 2022). Dessa forma, a produção brasileira foi de 154.566,3 milhões de toneladas, representando 41,88% da produção mundial. Estimativas apontam um crescimento de 4,1% de expansão na produção da safra 2023/24 no Brasil (USDA, 2022). Os estados com maior produção de soja são, respectivamente, Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás. A região centro-oeste é responsável por 47,4% da área total de soja no Brasil (USDA, 2022).

Dessa maneira, percebe-se que a cultura e seus genótipos são cultivados em condições ambientais diversas e, quando comparadas, seus desempenhos podem não se manifestar de forma consistente. Essa mudança relativa é denominada interação genótipo x ambiente (GxE) (Destro *et al.* 2001).

Quando um mesmo conjunto de genes se expressa de forma variada nos ambientes, tais mudanças podem ser explicadas pela heterogeneidade das variâncias experimentais e genéticas, ou ambas; já quando diferentes conjuntos de genes se expressam em ambientes distintos, a explicação está na inconsistência de relações genéticas entre valores de igual caráter em dois ambientes (Falconer, 1989)

A interação genótipo ambiente (GxE), considerada como principal empecilho no processo de melhoramento de plantas, é definida como comportamento desigual dos genótipos frente às variações do ambiente. Além de dificultar a identificação de genótipos superiores, seja na recomendação de cultivares ou na ocasião da seleção, podem superestimar os ganhos genéticos (Silva; Duarte, 2006; Cruz *et al.*, 2012).

De forma a garantir maior segurança no processo do melhoramento genético e recomendação de cultivares a ambientes diversos, estudos de adaptabilidade e estabilidade são realizados no processo de produção da cultura da soja (Sedyama *et al.*, 1990). A adaptabilidade é definida como a capacidade dos genótipos em responder, de modo vantajoso, aos estímulos ambientais; a estabilidade é a capacidade de esses genótipos apresentarem comportamentos previsíveis quando submetidos a estímulos ambientais (Cruz *et al.*, 2012).

Para avaliar a adaptabilidade e estabilidade da soja, podem ser usados métodos embasados em regressão linear (Finlay; Wilkinson, 1963; Eberhart; Russell, 1966; Tai, 1971), análise de variância (Yates; Cochran, 1938; Plaisted; Peterson, 1959; Wricke, 1965), regressão bissegmentada (Verma *et al.*, 1978; Silva; Barreto, 1985; Cruz *et al.*, 1989) e estatística não-paramétrica (Lin; Binns, 1988; Hühn, 1990; Annicchiarico, 1992).

O método de Eberhart e Russel (1966), baseado na regressão linear, considera a resposta de cada linhagem às reações ambientais; utiliza, portanto, o índice ambiental de modo a avaliar a qualidade dos ambientes e qualificá-los de maneira positiva ou negativa. O método de Cruz, Torres e Vencocsky (1989) se baseia na regressão linear bissegmentada e utiliza uma variável indexadora para avaliar a performance das linhagens nos ambientes oportunos e inoportunos. Por fim, o método de Lin e Binns (1988) considera a estatística não paramétrica e determina estabilidade através do quadrado médio da distância entre resposta máxima do ambiente e distância entre a média da linhagem. Já a análise pelo modelo AMMI é uma combinação de variância de efeitos aditivos principais das linhagens e ambientes, bem como a multiplicação desses dois fatores, de forma a estudar genótipo x ambiente (Zobel; Wright; Gauch, 1988).

O método AMMI é uma combinação de diversos pontos da estatística como a análise de variância e a análise de componentes principais para o ajuste de genótipo, ambiente e sua interação (GxA) (Mandel, 1971; Kempton, 1984; Zobel *et al.*, 1988). A análise possui diversas vantagens, entre as quais: a seleção de genótipos que captam as interações positivas ou discrepantes com o ambiente, bem como estimativas precisas no que se refere a respostas genotípicas. A representação do gráfico no modelo biplot facilita a visualização, a interpretação dos resultados e o detalhamento da interação GxA através da decomposição de soma de quadrados em partes denominadas padrão e ruído, melhorando a capacidade de predição das respostas ao ambiente (Zobel *et al.*, 1988).

Considerando que o modelo AMMI auxilia na identificação de genótipos de alta produtividade e amplamente adaptados, assim como na realização de zoneamento agrícola, a fim de recomendações específicas para cada ambiente (Gauch & Zobel, 1996), objetivou-se, com o estudo, avaliar a adaptabilidade e a estabilidade de 46 diferentes genótipos de soja, por meio da metodologia AMMI (*Additive Main effects and Multiplicative Interaction Analysis*) em 8 ambientes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características botânicas, morfológicas e estágios de crescimento da soja

A soja é reconhecida globalmente por sua importância devido ao uso de seus produtos na alimentação humana e animais, além de seu significativo valor econômico nos mercados nacionais e internacionais (Oliveira *et al.*, 2016).

Hodiernamente, ela é produzida em vários países mundo, sendo uma planta que pertence ao reino *Plantae*, na divisão *Magnoliophyta*, na classe *Magnoliopsida*, na ordem *Fabales*, na família *Fabaceae* (*Leguminosae*), na subfamília *Faboideae* (*Papilionoideae*), pertencente ao gênero *Glycine*, com a espécie *Glycine max* (L.) Merrill (Sediyama, 2009), caracterizada por um conjunto cromossômico de $2n=40$.

Caracteriza-se como uma planta anual, cuja altura pode variar de 0,3 a 2,5 metros, com um ciclo de crescimento completo que varia de 70 dias, para as cultivares mais precoces, a 200 dias para as mais tardias, dependendo das condições de cultivo (Sediyama *et al.*, 2015).

Seu sistema é radicular e axial fasciculado, sendo as raízes secundárias ramificadas a partir da raiz pivotante e apresentam nódulos que estão conectados à epiderme por filamentos. Esses nódulos são formados graças à presença das bactérias *Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkanii* em seu interior, que têm a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico e fornecê-lo à planta, recebendo hidratos de carbono em troca (Sediyama, 2016).

O caule é herbáceo, ereto, geralmente pubescente, e a ramificação varia conforme a cultivar, apresentando pilosidades em diferentes tonalidades de cinza ou marrom (Sediyama, 2016).

Nas cultivares comerciais de soja, as folhas podem ser classificadas em três tipos predominantes: cotiledonares, folhas unifoliadas e folhas trifolioladas. A forma dessas folhas

pode ser lanceolada estreita, lanceolada, triangular, oval pontiaguda ou oval arredondada (Sedyama, 2016).

As flores da soja são consideradas completas, ou seja, compostas por cálice, corola, androceu e gineceu, sendo encontradas em racemos terminais ou axilares. A quantidade de flores em cada racemo pode oscilar entre 2 e 35, com um tamanho de 3 a 8 mm quando estão desabrochadas. A abertura das flores se dá pela manhã e é afetada pelas condições de temperatura e umidade (Nogueira *et al.*, 2009).

Os frutos da soja são caracterizados como vagens, que podem conter de uma a cinco sementes. Essas vagens podem apresentar formatos achatados, arredondados, retos ou curvados, e a superfície externa da vagem pode exibir diferentes graus de pubescência, variando em tonalidades como cinza claro, cinza escuro, marrom claro, marrom médio ou marrom escuro (Sedyama, 2016).

A semente de soja exibe variações significativas em relação à forma, tamanho, coloração do tegumento, hilo e cotilédones. As formas das sementes podem ser esféricas, esférico-achatadas, alongadas ou alongadas-achatadas. Seu tegumento pode ter colorações que variam entre amarelo, verde, marrom claro, marrom médio, marrom escuro, preto, com listras pretas sobre um tegumento marrom, marrom avermelhado, concentrações de cor preta sobre o tegumento marrom, variação de cores e outras. No tegumento, encontramos o hilo, que possui uma micrópila na extremidade e, logo abaixo, o hipocótilo. O hilo é uma cicatriz com uma forma que pode variar de linear-elíptica a oval, apresentando cores que incluem verde, amarelo, amarelo alaranjado, marrom, marrom claro, marrom castanho, marrom escuro, marrom avermelhado, acinzentado claro, acinzentado escuro, preto imperfeito, preto e, por fim, ser do tipo cela, quando a cor do hilo se estende sobre o tegumento (Sedyama, 2013).

O tipo de crescimento é um fator distintivo entre as variedades de soja e engloba as categorias: determinado, semideterminado e indeterminado. Tais classificações se fundamentam na existência e na localização da inflorescência racemosa, que pode ser axilar ou tanto axilar quanto terminal (Nogueira *et al.*, 2009).

Existem três categorias principais de crescimento nas plantas de soja. *Determinado*: plantas deste tipo apresentam inflorescência racemosa tanto terminal quanto axilar. Seu crescimento vegetativo é interrompido após o florescimento, embora, em algumas situações, ainda possam crescer cerca de 10% de sua altura total; *Semideterminado*: essas plantas também possuem inflorescência racemosa terminal e axilar. No momento da floração, elas já atingiram aproximadamente 70% de sua altura total. A maturação das vagens é semelhante à do tipo determinado; *Indeterminado*: as plantas de crescimento indeterminado mantêm uma gema vegetativa após o florescimento, o que resulta no desenvolvimento contínuo dos nós, levando ao alongamento do caule. Essas plantas não apresentam inflorescência racemosa terminal. Essas categorias de crescimento nas plantas de soja têm impacto significativo em seu ciclo de crescimento e desenvolvimento (Nogueira *et al.*, 2009).

Conforme observado por Gazzoni (2016), a soja é uma planta autógama e cleistógama, com uma taxa relativamente baixa de polinização cruzada, situando-se em torno de 2%.

As cultivares de soja são classificadas em 13 grupos de maturidade, começando pelas variedades mais precoces, identificadas como 000, 00, 0, I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX e X, no hemisfério norte. As variedades do grupo de maturidade 000 são plantadas em regiões de latitudes mais elevadas, enquanto as do grupo X são preferencialmente cultivadas em áreas próximas à linha do Equador (Sediyama, 2016). Cada grupo de maturidade pode conter várias categorias de ciclos de crescimento determinados pelo número de dias entre a

semeadura ou emergência da planta e o seu estágio de maturação completa, conhecido como estágio fenológico R₈ (Sousa, 2015).

As cultivares de soja mais comuns adaptadas à região sul são aquelas classificadas no grupo de maturidade 5,0 a 8,0 com ciclos variando de 106 a 137 dias. Por outro lado, na região centro-oeste, as variedades predominantes são do grupo de maturidade 7,0 a 9,4, com um ciclo de crescimento que varia entre 108 e 147 dias (Alliprandini *et al.*, 2009).

2.2 Origem da Soja

A soja, segundo relatos, foi cultivada pela primeira vez entre os anos de 1.700 e 1.000 a.C. na parte oriental do norte da China, que também é reconhecida como principal centro de origem e diversidade. Além disso, a região da Manchúria, localizada no nordeste da China, é identificada como centro de diversidade secundário para a cultura (Chung & Singh, 2008).

A soja tem uma história rica no Oriente, onde é cultivada há mais de 5.000 anos para alimentação, tanto humana quanto animal. Além disso, é reconhecida como um dos cinco grãos sagrados, ao lado do arroz, do trigo, da cevada e do milheto (Sedyama, 2016). A soja foi levada da China para a Europa no ano de 1740 e, posteriormente, introduzida nos Estados Unidos da América (Sedyama *et al.*, 2013).

Num primeiro momento, a sojicultura estava voltada para a produção de alimento animal e, com esse intuito, a soja foi introduzida nos Estados Unidos em 1765. No entanto, foi somente a partir do ano de 1880 que seu cultivo como forragem ganhou destaque no país. E foi apenas em 1941 que a área destinada ao cultivo de soja para a produção de grãos superou a área destinada ao cultivo como forragem (Miyasaka & Medina, 1981; Chung & Singh,

2008).

Na Alemanha, no Reino Unido e na Rússia houve tentativas iniciais de estabelecer a produção comercial de soja. Entretanto, devido às condições climáticas desfavoráveis e à falta de conhecimento sobre técnicas de cultivo adequadas, essas tentativas não foram bem-sucedidas. No final do século XIX, os americanos alcançaram êxito no cultivo da soja, principalmente devido ao avanço no melhoramento genético. Eles desenvolveram variedades de soja aprimoradas, especialmente em termos de teor de óleo, o que levou à disseminação global dessa cultura (Gizlice *et al.*, 1994).

No Brasil, o primeiro registro relacionado à soja remonta ao ano de 1882, quando experimentos de cultivo foram realizados na Bahia por Gustavo Dutra. Contudo, essas tentativas iniciais não tiveram sucesso, pois as variedades de soja utilizadas não estavam adaptadas às condições da região. Naquela época, a produção comercial de soja estava predominantemente concentrada na região leste da Ásia, em latitudes próximas a 40° N, onde o clima era temperado, em contraste com o clima tropical e a baixa latitude (12°S) da Bahia (Dall'agnol, 2016).

A prática comercial do cultivo da soja no Brasil teve início no estado do Rio Grande do Sul apenas a partir dos anos 1940. A introdução da soja como alternativa para a rotação de culturas com o trigo impulsionou um considerável aumento na área plantada a partir da década de 1960. No entanto, foi por meio de iniciativas voltadas para o desenvolvimento da região dos cerrados e seleção de cultivares com um período juvenil longo que a cultura da soja alcançou proeminência nacional e se consolidou como um dos principais produtos da agricultura brasileira (Alves *et al.*, 2003; Dall'agnol, 2016).

Nos últimos anos, houve um aumento expressivo na produção de soja no Brasil, levando o país a se tornar o maior produtor global de soja. No ano agrícola 2022/2023, a área

cultivada com soja abrangeu 44,075 milhões de hectares, o que representa um incremento de 6,2% em comparação à safra anterior. A produtividade alcançou uma média de 3.508 kg/ha. Tais números foram influenciados pela qualidade das condições climáticas predominantes na maior parte das áreas de cultivo, exceto no Rio Grande do Sul, e pelo uso de tecnologia avançada adotada pelos agricultores (Companhia Nacional de Abastecimento - Conab, 2023).

2.3 Importância econômica e produção da soja

O cultivo da soja no Brasil começou a se expandir na região sudeste por volta de 1970, tornando o Cerrado a principal região produtora do país nos dias de hoje (Bezerra *et al.*, 2015). A mais recente área agrícola no Cerrado brasileiro é a região conhecida como MATOPIBA, que é um acrônimo formado pelas iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (Polizel *et al.*, 2021). As pesquisas nessa área tiveram início em 1968, na cidade de Irecê, no estado da Bahia. No entanto, somente na década de 1990, com a atividade agrícola intensa, grandes empresas como Brasmax, Don Mario, Monsanto, Pioneer e TMG começaram a recomendar variedades específicas para essa região (Sediyama *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2017; Polizel *et al.*, 2021).

Hodiernamente, a soja se sobressai como uma das culturas mais essenciais para a economia brasileira. Essa planta leguminosa é reconhecida como uma *commodity* nacional devido à sua produtividade robusta e à sua importância notável nas exportações para o mercado global. Desempenha papel fundamental na alimentação humana e animal, tendo em sua composição aproximadamente 40% de proteína e 20% de óleo. A formação da indústria voltada para o processamento da soja no Brasil resultou da adaptação bem-sucedida dessa cultura aos diversos climas do país e do desenvolvimento de variedades ricas em nutrientes (Sediyama *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2014; Bezerra *et al.*, 2015; Lima *et al.*, 2015; Adami *et*

al., 2022).

No cenário global, a soja desempenha um papel de considerável relevância, uma vez que seus grãos servem de matéria-prima para diversas indústrias, incluindo a produção de farelo, farinha, óleos, bebidas à base de soja, entre outros. Aproximadamente 77% do consumo mundial dessa leguminosa é compartilhado entre Brasil, Estados Unidos, Argentina e China. A China, por si só, é responsável por 62,58% de todas as importações globais (Oliveira *et al.*, 2015; USDA, 2023).

No Brasil, a produção de soja sempre foi orientada para o mercado internacional, o que a distingue como um dos principais produtos agrícolas. Embora tenha uma importância substancial como produto de exportação e como fator de estabilidade e desenvolvimento, a soja desencadeia a formação de um extenso complexo agroindustrial. Isso, por sua vez, contribui para a diversificação do processo de produção, incluindo um robusto mercado de sementes, fertilizantes, produtos fitossanitários e equipamentos agrícolas (Mello & Brum, 2013; Bezerra *et al.*, 2015).

O êxito alcançado nesse contexto pode ser atribuído a diversos fatores, incluindo o avanço no melhoramento genético da soja e o desenvolvimento de variedades mais produtivas, adaptadas a diferentes regiões de cultivo, bem como resistentes a diversas pragas e doenças (Hamawaki *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2017).

2.4 Melhoramento de Soja no Brasil

O crescimento da produção agrícola é o fator central que tem permitido satisfazer a crescente necessidade de alimentos devido ao aumento da população global. A maior parte desse aumento na produtividade é resultado do desenvolvimento de variedades de culturas de maior qualidade (Herrera *et al.*, 2020).

Uma grande parcela da área de cultivo de soja se encontra em regiões de clima temperado, principalmente por ser uma planta de dias curtos e noites longas. Para expandir o cultivo da soja em regiões tropicais e subtropicais, tornou-se essencial incorporar a característica de um período juvenil prolongado, permitindo o desenvolvimento de variedades adaptadas a uma ampla diversidade de condições de cultivo no Brasil. Atualmente, cerca de metade da produção de soja no Brasil ocorre em latitudes inferiores a 20° sul (Basso *et al.*, 2021).

O avanço no melhoramento genético desempenhou um papel fundamental na afirmação da soja como a cultura líder no cenário do agronegócio brasileiro. Isso possibilitou melhorias constantes na produtividade e a superação de obstáculos como as doenças (Montenegro, 2022). A promulgação da legislação de proteção de cultivares vegetais em 1997 desempenhou um papel crucial na atração de investimentos substanciais para os programas privados de melhoramento de soja (Vieira, 2009).

Atualmente, um dos principais impulsionadores do setor produtivo é o emprego de variedades aprimoradas, que possuem um vasto potencial genético para alcançar elevadas produtividades, adaptabilidade ampla e resistência a fatores tanto bióticos quanto abióticos. A utilização dessas novas cultivares aprimoradas tem contribuído para um aumento genético anual de cerca de 1,38% (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 2013; Anderle *et al.*, 2021).

No decorrer do processo de aprimoramento genético para o desenvolvimento de novas variedades, várias etapas, como a avaliação dos caracteres quantitativos e qualitativos, desempenham um papel fundamental no avanço das gerações e na seleção das linhagens. Esse processo culmina no lançamento de uma nova variedade, que é mais resistente e bem adaptada, sendo recomendada para a região específica onde foi desenvolvida (Diniz *et al.*,

2014).

2.5 Interação Genótipo x Ambiente

Os programas de melhoramento genético de plantas têm como finalidade oferecer, aos agricultores, variedades que superem aquelas disponíveis no mercado em termos de produtividade, com alta estabilidade e adaptabilidade às condições ambientais específicas. Para alcançar esse propósito, é essencial compreender os elementos que contribuem para o desenvolvimento de características vantajosas em termos de fenótipo (Malosetti *et al.*, 2013).

O valor aparente de um indivíduo, em um ambiente específico, é o resultado da combinação do seu efeito genético com a influência do ambiente em que se encontra. Entretanto, ao testar o mesmo indivíduo em diversos ambientes, surge um elemento adicional que afeta o seu valor fenotípico, chamado interação entre os efeitos genéticos e ambientais. Essa interação quantifica a maneira como os genótipos reagem de maneira distinta às variações ambientais (Cruz *et al.*, 2014).

O ambiente engloba elementos como as condições do solo e do clima, bem como práticas agrícolas, presença de patógenos e outras variáveis que têm impacto sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas (Bórem & Miranda, 2013). Para Silva *et al.* (2011), o ambiente - compreendendo elementos como a época de semeadura, as condições climáticas do ano e as práticas agrícolas - pode ser descrito como o desfecho dos fatores biofísicos que afetam o desenvolvimento e o crescimento das plantas.

Uma vez que a interação entre genótipos e ambientes (G x A) surge devido à maneira distinta como os genótipos respondem às mudanças no ambiente, é importante compreender que esse fenômeno não deve ser interpretado apenas como um resultado estatístico, mas sim como um processo biológico com implicações significativas no contexto

do melhoramento de plantas (Chaves, 2001). Portanto, é por meio da aplicação de técnicas estatísticas combinadas com *insights* da biologia que podemos adquirir informações mais precisas para compreender a interação G x A. Essa compreensão permite a formulação de estratégias para mitigar ou aproveitar essa interação de maneira aprimorar o processo de melhoramento e lançar variedades de plantas com características mais específicas e desejáveis (Garbuglio & Ferreira, 2015).

A subdivisão de uma área com variações em sub-regiões mais homogêneas é a estratégia mais comum empregada pelos melhoristas no combate à interação entre genótipos e ambientes. Isso permite a identificação de genótipos específicos para cada uma das sub-regiões, otimizando o processo de melhoramento de plantas (Cruz *et al.*, 2014).

A interação G x A pode ser categorizada em duas modalidades: simples e complexa. A interação simples decorre da disparidade na variabilidade dos genótipos nos ambientes, mantendo a posição relativa desses genótipos inalterada. Esse tipo de interação não dificulta a seleção de genótipos superiores e a recomendação de variedades, pois os melhores têm bom desempenho em um ambiente, assim como em outros. A interação complexa, por outro lado, ocorre devido à falta de correlação nos desempenhos dos genótipos, resultando em respostas distintas em função das variações ambientais e alterando sua classificação em diferentes ambientes (Cruz *et al.*, 2014).

Os programas de melhoramento genético da soja continuamente trabalham no desenvolvimento de novas variedades, com o objetivo de alcançar melhorias tanto em termos de quantidade como de qualidade, antecipando sua adoção pelos agricultores. Antes de recomendar uma variedade para os produtores, é necessário avaliar os genótipos em diversos ambientes que sejam representativos das condições locais onde o material selecionado será utilizado (Maia *et al.*, 2014).

Na fase conclusiva do programa de melhoramento, as empresas que detêm as variedades realizam testes por um período de dois anos em, pelo menos, uma área de cada região com características edafoclimáticas específicas. Isso é feito para determinar o Valor de Cultivo e Uso (VCU). Os ensaios incluem tanto as variedades comerciais já registradas e protegidas, quanto as linhagens que o detentor acredita terem potencial para futura comercialização (Dalló *et al.*, 2020).

Esses testes constituem uma parte fundamental da avaliação final que precede a recomendação de uma variedade e, por essa razão, devem ser conduzidos em vários ambientes, abrangendo uma variedade de condições climáticas. É nessas circunstâncias que se espera uma interação significativa entre genótipos e ambientes, particularmente no que diz respeito a caracteres quantitativos (Ramalho *et al.*, 2012).

Investigações relacionadas à interação entre genótipos e ambientes, embora cruciais para o melhoramento, não fornecem detalhes específicos sobre como cada genótipo responde às variações ambientais. Para obter informações mais detalhadas sobre esse comportamento, são conduzidos estudos de adaptabilidade e estabilidade fenotípica (Cruz *et al.*, 2012).

2.6 Adaptabilidade e Estabilidade

A interação entre genótipos e ambientes representa um dos principais desafios enfrentados pelos programas de melhoramento, tanto na fase de seleção quanto na recomendação de variedades. Uma das estratégias para reduzir o impacto dessa interação envolve a utilização de variedades que exibam ampla adaptabilidade e estabilidade em diferentes condições (Cruz *et al.*, 2014).

As abordagens utilizadas para avaliar a estabilidade e adaptabilidade de um conjunto de genótipos em vários ambientes complementam a análise de variância conjunta e individual. A presença de uma interação significativa entre genótipos e ambientes é uma condição fundamental para a realização de qualquer análise dos dados resultantes dos experimentos conduzidos em múltiplos ambientes (Sarti *et al.*, 2023).

A adaptabilidade refere-se à habilidade de um genótipo de tirar proveito das condições ambientais. A estabilidade, por sua vez, diz respeito à capacidade de um genótipo de exibir um comportamento altamente consistente diante das variações no ambiente (Mariotti *et al.*, 1976; Cruz & Regazzi, 1994).

A estabilidade fenotípica pode ser interpretada como a capacidade de indivíduos ou populações de exibirem variações fenotípicas reduzidas em ambientes diversos (Lewis, 1954). Conforme a definição de Allard e Bradshaw (1964), uma característica estável é aquela que possui o potencial genético e fenotípico para se adaptar às mudanças ambientais.

As análises de adaptabilidade e estabilidade têm sua utilidade, uma vez que, por meio das metodologias empregadas, é possível obter informações sobre o ambiente, classificando-o como favorável ou desfavorável. Além disso, esses estudos também permitem adquirir informações sobre o genótipo, identificando aqueles capazes de aproveitar eficazmente das condições ambientais, de demonstrar um comportamento previsível e de ser responsivo às variações ambientais em diversas situações (Cruz *et al.*, 2012).

Existem inúmeras metodologias para analisar a adaptabilidade e a estabilidade e, ao longo do tempo, houve uma tendência de aumentar a quantidade de parâmetros utilizados para avaliar o desempenho genotípico das cultivares, tornando a interpretação mais difícil. Métodos simples, que se baseiam em uma única informação, são mais fáceis de interpretar. No entanto, esses métodos tendem a ser limitados na análise do desempenho genotípico (Cruz

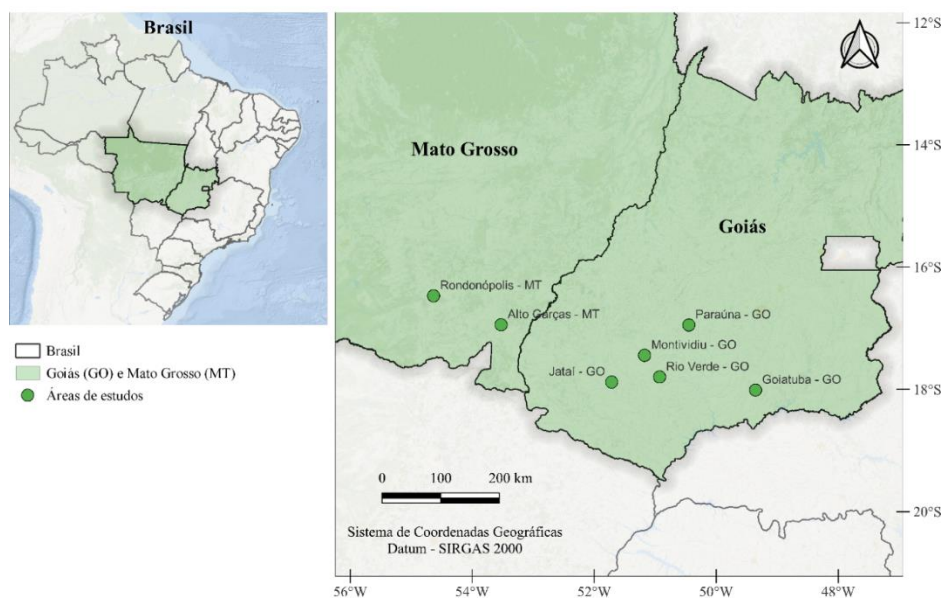
et al., 2014).

O método multivariado AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis*)), inicialmente proposto por Mandel (1971), é uma abordagem que oferece uma análise mais detalhada dos componentes da interação, tornando-se vantajosa na compreensão desse efeito, em comparação a outros métodos de análise convencionais (Zobel *et al.*, 1988).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados 8 ensaios de competição de cultivares no ano agrícola de 2017/2018, sendo dois instalados no município de Rio Verde, situado a 17° 47' 53" latitude S; Longitude: 50° 55' 41" longitude O, altitude de 715 m e outro instalado 15 dias após a semeadura do primeiro. Os outros 6 experimentos foram instalados em Goiatuba – GO situado a 18° 00' 45" latitude S, 49° 21' 17" longitude O e altitude de 774 m; em Rondonópolis – MT, situado a 16° 28' 15" latitude S, 54° 38' 08" longitude O e altitude de 227 m; em Paraúna – GO a 16° 56' 52" latitude S, 50° 26' 55" longitude O e altitude de 721 m; em Alto Garças – MT a 16° 56' 38" latitude S, 53° 31' 41" longitude O e altitude 754 m; em Jataí – GO 17° 52' 53" latitude S, 51° 42' 52" longitude O e altitude de 696 m; e em Montividiu – GO situado a 17° 26' 39" latitude S, 51° 10' 29" longitude O e altitude de 821 m.

Figura 1. Locais de realização dos experimentos



Em relação às práticas agrônômicas utilizadas, os preparos de solo foram

semelhantes. Por ocasião do plantio, foi semelhante a adubação de semeadura de acordo com as recomendações de adubação e semeadura para cada estado segundo as recomendações da EMBRAPA (2013). Para o manejo de plantas invasoras, foram aplicados herbicidas tanto antes como após a emergência das plantas. As medidas de controle de doenças e pragas de insetos seguiram as diretrizes técnicas específicas para a cultura, conforme orientações da EMBRAPA (2013).

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados (DBC) com três repetições. A unidade experimental foi composta por quatro linhas de 4,0 metros de comprimento, utilizando um espaçamento entrelinhas de 0,5 m e 16 plantas por metro linear. A área útil de cada parcela foi composta pelas duas fileiras centrais de cada parcela. Foram avaliados 46 genótipos de soja conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Identificação dos genótipos de soja e grupo de maturação (GM), avaliados durante a safra 2017/2018.

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

A colheita das plantas foi feita de forma manual. Foi calculado o peso de 100 grãos (MCG), obtida pela média da tomada aleatória de 100 grãos repetidos três vezes em cada parcela e pesado em balança digital.

Para calcular a produtividade de grãos (PROD), a colheita abrangeu a área útil de cada parcela, que significa as duas linhas centrais. E os grãos obtidos após o processamento das plantas foram pesados. Os resultados, originalmente em gramas por parcela, foram convertidos para quilogramas por hectare (kg ha⁻¹). Além disso, essa produtividade foi ajustada para uma umidade de 13%, por meio da seguinte fórmula:

$$PF = PI \times \frac{100 - UI}{100 - UF}$$

Em que:

PF: peso final corrigido da amostra;

PI: peso inicial da amostra;

UI: umidade inicial da amostra;

UF: umidade final corrigida (13%).

Uma vez detectada a interação G x A significativa através da ANOVA, procedeu-se à análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica. A partir dessas estimativas, as linhagens e cultivares de soja foram ranqueadas em função do valor genético dentro de grupos de ambientes similares identificados pela análise AMMI (ZOBEL *et al.*, 1988).

A análise AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction*) integra, em um único modelo, fatores aditivos para os efeitos primários de genótipos e ambientes,

bem como fatores multiplicativos para o efeito da interação (conforme Duarte e Vencovsky, 1999). Portanto, a resposta média de um genótipo (i) em um ambiente (p) é expressa pelo modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Sob as restrições: $\sum_i G_i = \sum_j A_j = \sum_i (GA)_{ij} = \sum_j (GA)_{ij} = 0$, além da média geral (μ) e do erro experimental médio ε_{ij} , os demais termos do modelo resultam da chamada *Decomposição por Valores Singulares* (DVS) da matriz de interações: $GA_{(g \times a)} = [GA_{ij}]$. A matriz de interação é obtida com resíduo do ajuste aos efeitos principais por ANOVA, aplicada à matriz de médias $Y_{(g \times a)} = [Y_{ij}]$. Assim, λ_k é o k -ésimo valor singular de GA (escalar) e $\check{e}_{k(g \times 1)}$ e $\acute{a}_{k(1 \times a)}$ são os respectivos valores singulares (vetor coluna e vetor linha) associados a λ_k (Good, 1969; Mandel, 1971; Piepho, 1995).

Logo, γ_{ik} e α_{jk} são elementos relacionados ao genótipo i e ao ambiente j dos vetores $\check{e}_{k(g \times 1)}$ e $\acute{a}_{k(1 \times a)}$, respectivamente. O índice k ($k = 1, 2, \dots, m$: onde $m = \min \{g-1, a-1\}$, é o oposto de GA) tomando até n no somatório ($n < m$), determina uma aproximação de mínimos quadrados para a matriz GA pelo n primeiros termos da DVS (Good, 1969; Gabriel 1978), deixando o resíduo adicional denotado por ρ_{ij} . Para $n = m$ não se tem mais a aproximação e sim a decomposição exata em ρ_{ij} nulo.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

A interação entre os genótipos e os ambientes apresentou um alto nível de significância para produtividade (Tabela 2) e massa de 100 grãos (Tabela 3), o que indica que os genótipos foram afetados de maneira variável pelos diferentes ambientes. Sendo assim, é essencial realizar uma análise mais aprofundada dessa interação, a fim de compreendê-la em detalhes e encontrar maneiras de controlá-la, evitando que haja impactos negativos na recomendação de cultivos.

Na Tabela 2, é apresentada a análise de variância conjunta dos efeitos principais e da interação entre as fontes de variação.

Tabela 2. Análise de variância da produtividade de 46 genótipos de soja, testados em 8 ambientes diferentes nos estados de Goiás e Mato Grosso na safra 2017/2018.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Bloco/Ambiente	16	9014064	563379,0	1,9	0,0129691
Ambiente (A)	7	596812850	85258978,5	151,3	0,0000000
Genótipo (G)	45	168011028	3733578,4	13,0	0,0000000
G x A	315	521038595	1654090,8	5,7	0,0000000
Erro	720	206057409	286190,8	-	-
Eixos singulares	PI	PA	QM	F	Pr > F
IPCA1	51,4	51,4	5253244,1	18,36	0,00
IPCA2	15,2	66,6	1616821,8	5,65	0,00
IPCA3	11,0	77,6	1216561,3	4,25	0,00
IPCA4	9,2	86,8	1070389,0	3,74	0,00

O coeficiente de variação foi de 30,67%, o que, segundo Pimentel-Gomes (1990), resulta em uma alta heterogeneidade entre os dados, sendo a produtividade de grão um caráter

quantitativo muito influenciado pelo ambiente. A interação entre os genótipos e os ambientes apresentou um alto nível de significância para produtividade, o que indica que os genótipos foram afetados de maneira variável pelos diferentes ambientes, inferindo que há genótipos com adaptação específica a um determinado ambiente e outros com adaptação generalizada. Em termos de F, a grandiosidade da fonte de variação ambiental foi superior às demais, indicando que ela é a responsável pela maior parte da variação ocorrida. Os genótipos também se mostraram significativos, indicando que são formados por grupos geneticamente distintos.

A Tabela 3 apresenta os valores da análise de variância conjunta para a massa de 100 grãos dos 46 genótipos de soja nos diferentes ambientes em Goiás e Mato Grosso.

Tabela 3. Análise de variância de massa de 100 grãos de 46 genótipos de soja, testados em 8 ambientes diferentes nos estados de Goiás e Mato Grosso, na safra 2017/2018.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Bloco/Ambiente	16	109,2	6,8	2,9	0,0000000
Ambiente (A)	7	11752,6	1678,9	245,9	0,0000000
Genótipo (G)	45	1928,4	42,8	18,5	0,0000000
G x A	315	9874,7	31,3	13,5	0,0000000
Erro	720	1664,0	2,3	-	-
Eixos singulares	PI	PA	QM	F	Pr > F
IPCA1	74,9	74,9	144,9	62,7	0,00
IPCA2	11,2	86,1	22,5	9,7	0,00
IPCA3	4,8	90,8	22,5	4,3	0,00
IPCA4	3,3	94,2	7,2	3,1	0,00

A média geral da massa de 100 grãos de soja dos experimentos para os 8 ambientes foi de 14,25 gramas. O coeficiente de variação obtido foi de 33,63%, sendo um

caráter quantitativo que apresentou alta dispersão dos dados. A análise revelou uma interação significativa entre os genótipos e os ambientes, sugerindo que os genótipos foram influenciados de forma diversa pelas condições específicas de cada ambiente. No que diz respeito ao teste F, a magnitude da fonte de variação do ambiente foi expressivamente superior aos outros caracteres analisados, sendo a responsável pela maior significância na variação da massa de 100 grãos.

A partir dos resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3, pode-se observar que o ambiente foi o principal responsável pela variabilidade observada nos genótipos de soja para a produtividade e massa de 100 grãos, destacando que os indivíduos demonstraram respostas distintas em cada ambiente, o que enfatiza a presença da interação G x A.

Portanto, de acordo com a maior ou menor capacidade de adaptação genética/estabilidade dos indivíduos, a interação G x A tem o potencial de afetar as características fenotípicas de um genótipo (Maia *et al.*, 2014).

Esse resultado torna desafiador o processo de recomendação de cultivares para a região considerada no estudo. Sendo assim, é essencial realizar uma análise mais aprofundada dessa interação, a fim de compreendê-la em detalhes e encontrar maneiras de controlá-la, evitando que haja impactos negativos na recomendação de cultivos, uma vez que os genótipos terão diferentes respostas perante as variações ambientais, não mantendo uma certa previsibilidade.

A fim de avaliar a estabilidade dos genótipos por meio da análise AMMI (Zobel *et al.*, 1988), os componentes principais (PC1, PC2) foram representados em um plano cartesiano, conforme ilustrado na Figura 3A, para produtividade, e 3B, para massa de grãos.

Na figura 3A, o primeiro eixo principal (PC1) contém 51,4% da SQ (GxA) e de acordo com (Oliveira *et al.*, 2003; Rocha *et al.*, 2004; Maia *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2006),

está na variação comum que fica em torno de 26 a 71% em pesquisas com soja. Desta maneira, há indicativo de que aproximadamente metade da variação relacionada a desvios de genótipo, ambiente e sua aditividade pode ser observada no primeiro componente.

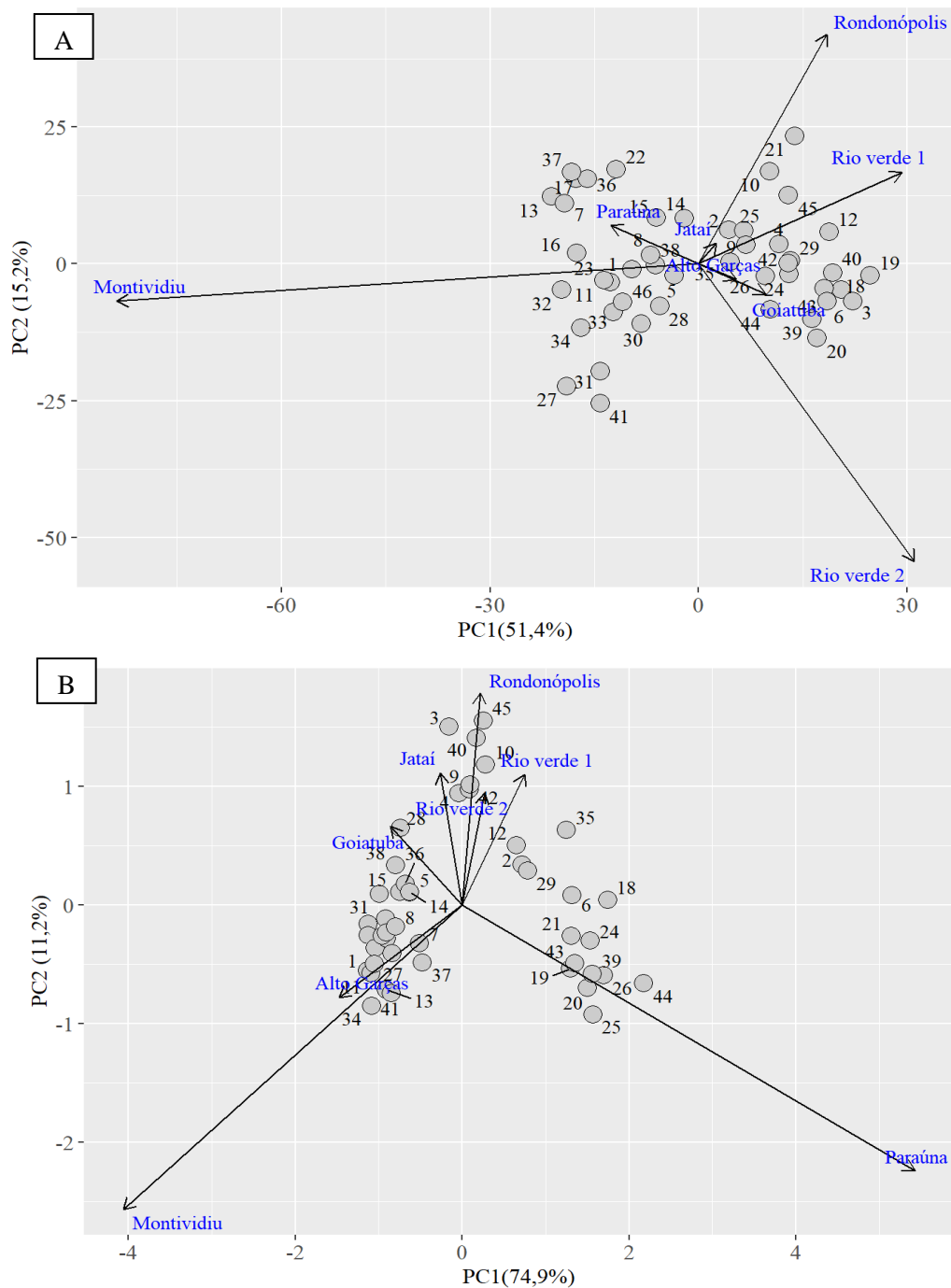
Segundo Duarte e Vencovsky (1999), a análise de um biplot em relação à interação G x A é realizada considerando a magnitude e o sinal dos escores dos genótipos e ambientes nos eixos de interação. Desse modo, escores baixos, próximos de zero, indicam genótipos e ambientes que tiveram pouca ou nenhuma contribuição para a interação, demonstrando estabilidade.

De acordo com Crossa (1990), como existe maior padrão nos dois primeiros eixos, a representação cartesiana em dois eixos (AMMI2) é mais utilizada, pois não despreza os ruídos como AMMI1 e a presença desses ruídos ocorre, pois aumentam os graus de liberdade associados à soma de quadrados da interação GxA (Lavoranti *et al.*, 2004).

Na figura 3A, observa-se que a representação gráfica está sob um plano cartesiano, já que o primeiro componente (PC1) absorve 51,4% e acumula com o segundo (PC2) 66,6%, sendo possível a apresentação de biplots. O mesmo caso se repete na figura 3B, em que se analisa a massa de 100 grãos, na qual PC1 contém 74,9% e acumula com PC2 86,1%.

Conforme o biplot representado, as setas representam os ambientes. As setas mais próximas da origem, portanto com escores próximos a zero, são os ambientes Alto do Garça e Jataí, para produtividade, e Rio Verde 2 e Jataí, para massa de 100 grãos. Genótipos e ambientes mais próximos da origem contribuem muito pouco para a interação G x A. Montividiu, Rio Verde 2 e Rondonópolis são os eixos mais distantes da origem para produtividade e, no quesito massa de 100 grãos, são listados Montividiu, Paraúna e Rondonópolis.

Figura 3. Bitplot da análise AMMI dos 46 genótipos de soja e 8 ambientes no Estado de Goiás e Mato Grosso, com base na produtividade (A) e massa de 100 grãos (B), safra 2017/2018.



A interpretação da estabilidade se baseia nos pontos em que os genótipos são

plotados; genótipos são considerados mais estáveis quando estão localizados próximo à origem. Observou-se que os genótipos mais próximos, para a produtividade, foram G2, G5 e G35. Enquanto que, para a massa de 100 grãos, os genótipos mais próximos da origem foram G4, G9 e G42.

Seguindo a análise, no que diz respeito aos genótipos, a estabilidade avaliada é um reflexo de suas faixas adaptativas e os genótipos estáveis demonstraram adaptabilidade em um espectro amplo de ambientes de teste.

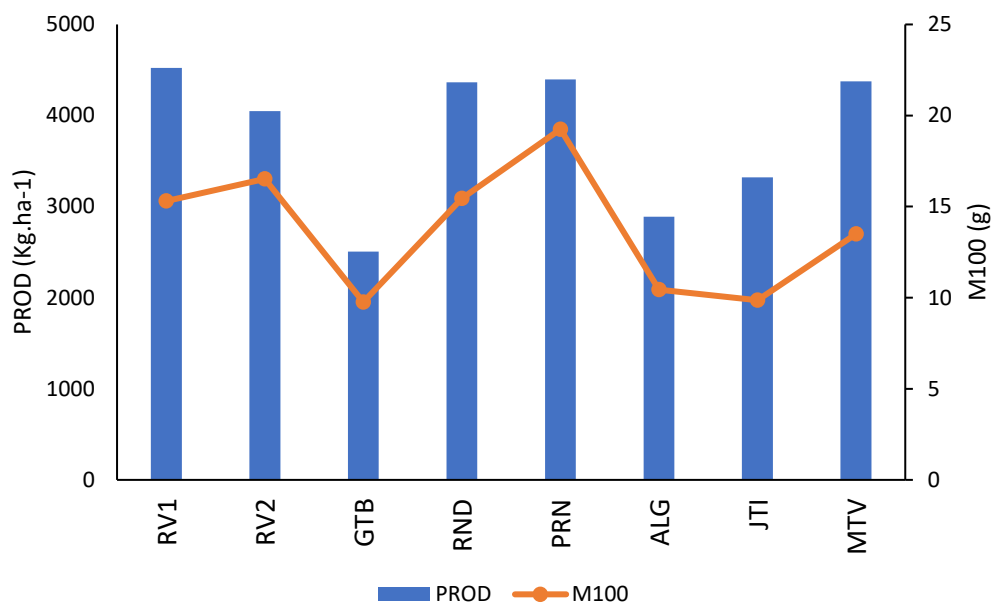
No que diz respeito à estabilidade ambiental, o ambiente Jataí apresentou o menor escore, sugerindo ser o local mais estável e confiável para a recomendação de cultivares. No processo de recomendação, é crucial levar em consideração a média de produtividade do genótipo. Isso ocorre porque o genótipo mais estável nem sempre será aquele com as médias de produtividade mais altas. Portanto, é importante observar os genótipos G9 e G28, que, além de demonstrarem boa estabilidade, também obtiveram boas médias de produtividade.

A Figura 4 traz a análise dos parâmetros quantitativos quanto às localidades. De maneira isolada, no quesito produtividade, Rio Verde 1, Rondonópolis, Paraúna e Montividiu apresentaram as maiores médias, com aproximadamente 4500 kg.ha⁻¹. Jataí, Alto Garças e Goiatuba representaram os menores índices, com destaque para última com 2500 kg.ha⁻¹. Para o caráter M100 grãos (g), Paraúna foi a cidade que se sobressaiu com 20g, seguido de Rio Verde 2 e Rondonópolis, com média entre 15 e 20g. Jataí, Alto Garças e Goiatuba também se destacam com as médias mais baixas em concordância com a produtividade.

Fazendo uma correlação com o biplot da Figura 3, num programa de melhoramento genético, Paraúna se destaca tanto na produtividade quando na menor interação GxA por ter escore mais próximo ao eixo zero, indicando maior estabilidade. Para a M100 grãos a mesma inferência podem ser atribuída, onde Rio Verde 2 demonstra maior

estabilidade para a característica pela análise AMMI.

Figura 4. Gráfico de análise de produtividade (Kg.ha-1) e M100 grãos (g) por localidade.



Carvalho *et al.* (2013) destacam que a utilização simultânea dos métodos, como de Eberhart e Russell (1966), Lin e Binns (1988) e Annicchiarico (1992), aumenta a confiabilidade na classificação e recomendação de cultivares de soja para ambientes específicos. Teixeira Júnior *et al.* (2015) também concordam com essa abordagem, que inclui o método do Centróide (Rocha *et al.*, 2005).

5 CONCLUSÃO

A metodologia AMMI foi capaz de demonstrar o melhor ambiente, mais estável, e os genótipos mais adaptados e estáveis.

O ambiente de Jataí destacou-se como o ambiente mais adequado e confiável para recomendar cultivares. G10 demonstrou adaptabilidade específica para Rondonópolis para as duas avaliações; G12 para Rio Verde 1; e G1 e G8 para Montividiu.

Os genótipos mais estáveis foram G2, G4, G5, G9, G35 e G4, pois ficaram próximos ao eixo zero do biplot, logo, são os mais seguros quanto à adaptabilidade para recomendação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMI, A. C. D. O., OZAKI, V. A., & MIQUELLUTI, D. L. (2021).** Efeito de alterações no preço de referência sobre as indenizações do Seguro Agrícola de Faturamento da soja no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60. DOI: 10.1590/1806-9479.2021.247784. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.247784>>. Acesso em: 15 de setembro de 2023.
- ALLARD, R. W., & BRADSHAW, A. D. (1964).** Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding 1. *Crop science*, 4(5), 503-508.
- ALLIPRANDINI, L. F., ABATTI, C., BERTAGNOLLI, P. F., CAVASSIM, J. E., GABE, H. L., KUREK, A., MATSUMOTO, M. N., OLIVEIRA, M. A. R., PITOL, C., PRADO, L. C., & STECKLING, C. (2009).** Understanding soybean maturity groups in Brazil: environment, cultivar classification, and stability. *Crop science*, 49(3), 801-808. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/127659A/SP-15720.pdf>>. Acesso em: 6 de outubro de 2023.
- ALVES, B. J., BODDEY, R. M., & URQUIAGA, S. (2003).** The success of BNF in soybean in Brazil. *Plant and soil*, 252, 1-9.
- ANDERLE, L. Z., GUIMARÃES, F. C. M., & KAWAKAMI, J. (2021).** Seleção assistida por marcadores moleculares no melhoramento genético da soja. *Revista Técnico-Científica*, (25).
- ANNICCHIARICO, P. (1992).** Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. *Journal of Genetics and Breeding*, 46, 269-269.
- BASSO, D., TRENNEPOHL, D., VIEIRA, E. L., & MUENCHEN, J. V. (2021).** The dynamics of occupation of the natural area by the process of expansion of soybean culture in Brazil. *Informe Gepec*, 25(1), 164-184.
- BEZERRA, A. R. G.; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A.; SOARES, M. M. (2015).** Importância econômica. In: SEDIYAMA, T., SILVA, F., & BORÉM, A. (2015). Soja: do plantio à colheita. Viçosa: Ed. UFV, p. 09-26.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. (2013).** Interação genótipo x ambiente. Melhoramento de Plantas. 6ª Ed., Viçosa: Editora UFV, p.131-144.
- CARVALHO, E. V., PELUZIO, J. M., DOS SANTOS, W. F., AFFÉRI, F. S., & DOTTO, M. A. (2013).** Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em Tocantins. *Revista Agro@mbiente On-line*, 7(2), 162-169.
- CHAVES, J. (2001).** Interação de cultivares com ambientes. NASS, L. L., VALOIS, A. C. C., MELO, I. S., VALADARES, M. C. Recursos genéticos e melhoramento de plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 673-713.
- CHUNG, G., & SINGH, R. J. (2008).** Broadening the genetic base of soybean: a

multidisciplinary approach. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27(5), 295-341.

- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. (2023).** Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, safra 2022/23, 10(12), Décimo Segundo Levantamento, 110 p.
- CRUZ, C. D., REGAZZI, A. J., & CARNEIRO, P. C. S. (2012).** Modelos biométricos aplicados ao melhoramento. 3ª Ed., UFV, Viçosa, 514 p.
- CRUZ, C. D., REGAZZI, A. J., & CARNEIRO, P. C. S. (2014).** Modelos biométricos aplicados ao melhoramento. 4ª Ed., UFV, Viçosa. 668 p.
- CRUZ, C. D., TORRES, R. D. A., & VENCOVSKY, R. (1989).** Alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. *Revista Brasileira de Genética= Brazilian Journal of Genetics*, 12(3), 567-80.
- DALL'AGNOL, A. (2016).** A Embrapa soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil. *Histórico e Contribuições*, 1, 73.
- DALLÓ, S. C., ZDZIARSKI, A. D., WOYANN, L. G., MILIOLI, A. S., ZANELLA, R., BATTI, V. D. B. B., & BENIN, G. (2020).** Locais-chave para a avaliação de genótipos de soja na região Sul do Brasil. *Semina Ciências Agrárias*, 41(3), 767-782.
- DESTRO, D., CARPENTIERI-PÍPOLO, V., DE SOUZA KIHHL, R. A., & DE ALMEIDA, L. A. (2001).** Photoperiodism and genetic control of the long juvenile period in soybean: a review. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 1(1).
- DINIZ, R. M., HAMAWAKI, O., NOGUEIRA, A. P., SOUSA, L., & CASTRO, L. H. (2014).** Comportamento Agrônômico De Cultivares De Soja De Ciclo Precoce. *Enciclopédia Biosfera*, 10(18).
- DUARTE, J. B., & VENCOVSKY, R. (1999).** Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise "AMMI". *Série Monografias. Sociedade Brasileira de Genética*, (9).
- EBERHART, S. T., & RUSSELL, W. A. (1966).** Stability parameters for comparing varieties 1. *Crop science*, 6(1), 36-40.
- ESTADOS UNIDOS. (2022)** Department of Agriculture. USDA.gov - United States Department of Agriculture. Disponível em: <<http://www.usda.gov>>. Acesso em: 25 de setembro de 2023.
- FINLAY, K. W., & WILKINSON, G. N. (1963).** The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian journal of agricultural research*, 14(6), 742-754.
- GABRIEL, K. R. (1971).** The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 58(3), 453-467.
- GABRIEL, K. R. (1978).** Least squares approximation of matrices by additive and

- multiplicative models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, *40*(2), 186-196.
- GARBUGLIO, D. D., & FERREIRA, D. F. (2015).** FGGE method: description and application in data from maize cultivars. *Euphytica*, *204*, 723-737.
- GAZZONI, D. L. (2016).** Soybean and bees. Londrina: Embrapa Soja. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/153168/1/livro-SOYBEAN-AND-BEES-baixa.pdf>>. Acesso em: 22 de setembro de 2023.
- GIZLICE, Z., CARTER JR, T. E., & BURTON, J. W. (1994).** Genetic base for North American public soybean cultivars released between 1947 and 1988. *Crop Science*, *34*(5), 1143-1151.
- GOOD, I. J. (1969).** Some applications of the singular decomposition of a matrix. *Technometrics*, *11*(4), 823-831.
- HAMAWAKI, O. T., HAMAWAKI, R. L., NOGUEIRA, A. P. O., GLASENAPP, J. S., HAMAWAKI, C. D. L., & SILVA, C. O. D. (2019).** Evaluation of soybean breeding lineages to new sources of root-knot nematode resistance. *Ciência e Agrotecnologia*, *43*.
- HERRERA, G. C., POLETINE, J. P., BRONDANI, S. T., ANTÔNIO, M., BARELLI, A., & DA SILVA, V. P. (2020).** Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de soja na região sul do Brasil por meio de modelagem mista. *Journal of Agronomic Sciences*, *9*, 185-202.
- HÜHN, M. (1990).** Nonparametric measures of phenotypic stability. Part I: theory. *Euphytica*, *47*, 195-201.
- JÚNIOR, T. T., PELUZIO, J. M., DE MELO, A. V., ARCHANGELO, E. R., & AFFERRI, F. S. (2015).** Correlation among adaptability and stability methodologies for soybean genotypes in regions of degraded areas. *Revista Agro@mbiente On-line*, *9*(1), 35-41.
- KEMPTON, R. A.** The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Journal of Agricultural Science, Cambridge, Inglaterra*, v. 103, p. 123-135, 1984.
- LEWIS, D. (1954).** Gene-environment interaction: A relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability. *Heredity*, *8*(3), 333-356.
- LIMA, I. P., BRUZI, A. T., BOTELHO, F. B. S., ZAMBIAZZI, E. V., SOARES, I. O., & ZUFFO, A. M. (2015).** Performance of conventional and transgenic soybean cultivars in the south and Alto Paranaíba regions of Minas Gerais, Brazil. *American Journal of Plant Sciences*, *6*(09), 1385.
- LIN, C. S., & BINNS, M. R. (1988).** A superiority measure of cultivar performance for cultivar× location data. *Canadian Journal of Plant Science*, *68*(1), 193-198.
- MAIA, M. C. C., VELLO, N. A., DE ARAÚJO, L. B., DOS SANTOS DIAS, C. T., DE**

- OLIVEIRA, L. C., & DE MOURA ROCHA, M. (2014).** Interação genótipo-ambiente em soja via análise de componentes principais com múltiplas matrizes de dados. *Revista Agro@ mbiente On-line*, 8(1), 104-111.
- MALOSETTI, M., RIBAUT, J. M., & VAN EEUWIJK, F. A. (2013).** The statistical analysis of multi-environment data: modeling genotype-by-environment interaction and its genetic basis. *Frontiers in physiology*, 4, 44. Disponível em: < <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2013.00044/full>>. Acesso em: 21 de setembro de 2023.
- MANDEL, J. (1971).** A new analysis of variance model for non-additive data. *Technometrics*, 13(1), 1-18.
- MARIOTTI, J. A., OYARZABAL, E. S., OSA, J. M., BULACIO, A. N. R., & ALMADA, G. H. (1976).** Análisis de estabilidad y adaptabilidad de genótipos de caña de azúcar. I. Interacciones dentro de una localidad experimental. *Revista Agronómica del Nordeste Argentino*, 13(14), 105-127.
- MELLO, E. S., & BRUM, A. L. (2013).** O direito ao desenvolvimento e a produção local: O plantio direto da soja como uma alternativa de desenvolvimento econômico. *Revista GEDECON-Gestão e Desenvolvimento em Contexto*, 1(1), 133-154.
- MIYASAKA, S., & MEDINA, J. C. (Ed.). (1981).** A soja no Brasil. Campinas. ITAL, 1981. 1062 p.
- MONTENEGRO, J. G. (2022).** As tecnologias adotadas para o desenvolvimento sustentável da soja no Brasil. Porto Alegre, 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal do Rio Grande Sul. Disponível em:< <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/252034>>. Acesso em: 15 de outubro de 2023.
- NOGUEIRA, A. P. O., SEDIYAMA, T., BARROS, H. B., & TEIXEIRA, R. C. (2009).** Morfologia, crescimento e desenvolvimento. *Tecnologias de produção e usos da soja*. Londrina: Mecenaz, 7-16.
- OLIVEIRA, C., LAZARINI, E., TARSITANIO, M. A. A., PINTO, C. C., & DE-SÁ, M. E. (2015).** Production cost and profitability of soybean seeds enriched with molybdenum. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 45(1).
- OLIVEIRA, V. M., HAMAWAKI, O. T., NOGUEIRA, A. O., SOUSA, L. B., SANTOS, F. M., & HAMAWAKI, R. L. (2016).** Selection for wide adaptability and high phenotypic stability of Brazilian soybean genotypes. *Genetics and molecular Research*, 15, 1-13.
- PIEPHO, H. P. (1995).** Robustness of statistical tests for multiplicative terms in the additive main effects and multiplicative interaction model for cultivar trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 90, 438-443.
- PIMENTEL-GOMES, F. (1990)** Curso de estatística experimental. 13ª ed. São Paulo,

Nobel.

- PLAISTED, R. L., & PETERSON, L. C. (1959).** A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. *American Potato Journal*, 36, 381-385.
- POLIZEL, S. P., VIEIRA, R. M. D. S. P., POMPEU, J., DA CRUZ FERREIRA, Y., DE SOUSA-NETO, E. R., BARBOSA, A. A., & OMETTO, J. P. H. B. (2021).** Analysing the dynamics of land use in the context of current conservation policies and land tenure in the Cerrado–MATOPIBA region (Brazil). *Land use policy*, 109, 105713.
- RAMALHO, M. A. P., ABREU, A. de F. B., SANTOS, J. B., & NUNES, J. A. R. (2012).** Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas. Lavras: UFLA, 522 p.
- ROCHA, R. B., MURO-ABAD, J. I., ARAÚJO, E. F., & CRUZ, C. D. (2005).** Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, 15, 255-266.
- SARTI, D. A., PRADO, E. B., INGLIS, A. N., DOS SANTOS, A. A., HURLEY, C. B., MORAL, R. A., & PARNELL, A. C. (2023).** Bayesian additive regression trees for genotype by environment interaction models. *The Annals of Applied Statistics*, 17(3), 1936-1957.
- SEDIYAMA, T. (2009).** Tecnologia de produção de sementes de soja. Londrina: Mecenas, 314 p.
- SEDIYAMA, T. (2013).** Tecnologia de produção de sementes de soja. Londrina: Mecenas, 352 p.
- SEDIYAMA, T. (2016).** Produtividade da soja. Londrina: Ed. Mecenas, 310 p.
- SEDIYAMA, T., SILVA, F., & BORÉM, A. (2015).** Soja: do plantio à colheita. Viçosa: Ed. UFV, 333p.
- SILVA, F.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; LUDKE, W. (2017).** Melhoramento da Soja. Viçosa: Ed. UFV, 563p.
- SILVA, J. D., & BARRETO, J. N. (1985).** Aplicação da regressão linear segmentada em estudos da interação genótipo x ambiente. *Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica*, 1, 49-50.
- SILVA, R. R., BENIN, G., SILVA, G. O. D., MARCHIORO, V. S., ALMEIDA, J. L. D., & MATEI, G. (2011).** Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de trigo em diferentes épocas de semeadura, no Paraná. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46, 1439-1447. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pab/v46n11/v46n11a04.pdf>>. Acesso em: 21 de setembro de 2023.
- SILVA, W. C. J., & DUARTE, J. B. (2006).** Métodos estatísticos para estudo de

adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 41, 23-30.

- SOUSA, I. S. (2015).** Caracterização agromorfológica, adaptabilidade e estabilidade de populações e divergência genética entre linhagens de soja. Piracicaba, 178 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11137/tde-16032016-153531/publico/Iradenia_da_Silva_Sousa.pdf>. Acesso em: 18 de setembro de 2023.
- SOUZA, B. H. S., COSTA, E. N., DA SILVA, A. G., & JÚNIOR, A. L. B. (2014).** Aspectos bionômicos de *Spodoptera eridania* (Cramer): uma praga em expansão na cultura da soja na região do Cerrado brasileiro. EntomoBrasilis, 7(2), 75-80.
- TAI, G. C. (1971).** Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials. Crop science, 11(2), 184-190.
- VERMA, M. M., CHAHAL, G. S., & MURTY, B. R. (1978).** Limitations of conventional regression analysis a proposed modification [Nicotiana; tobacco]. Theoretical and Applied Genetics (Germany, FR).
- VIEIRA, P. F. de M. J. (2009).** Dialelo entre genitores de soja tolerantes à ferrugem asiática. Piracicaba, 85 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11137/tde-17032010-111423/en.php>>. Acesso em: 15 de outubro de 2023.
- WRICKE, G. (1965).** Zur berechnung der ökovalenz bei sommerweizen und hafer. Zeitschrift für Pflanzenzüchtung, 52(91), 127-138.
- YATES, F., & COCHRAN, W. G. (1938).** The analysis of groups of experiments. *The Journal of Agricultural Science*, 28(4), 556-580.
- ZOBEL, R. W., WRIGHT, M. J., & GAUCH JR, H. G. (1988).** Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy journal*, 80(3), 388-393.