

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ELIZABETH ALEXANDRA ROSERO ORDOÑEZ

**DESEMPENHO DE LINHAGENS HOMOZIGOTAS DE SOJA E AMPLIAÇÃO DE
VARIABILIDADE GENÉTICA POR MEIO DE HIBRIDAÇÃO ARTIFICIAL**

DOIS VIZINHOS

2024

ELIZABETH ALEXANDRA ROSERO ORDOÑEZ

**DESEMPENHO DE LINHAGENS HOMOZIGOTAS DE SOJA E AMPLIAÇÃO DE
VARIABILIDADE GENÉTICA POR MEIO DE HIBRIDAÇÃO ARTIFICIAL**

**Performance of homozygous soybean lines and expansion of genetic
variability through artificial hybridization**

Trabalho de conclusão de curso de Dissertação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Mestre em Ciências Agrárias da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Carlos André Bahry

DOIS VIZINHOS

2024



[4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



ELIZABETH ALEXANDRA ROSERO ORDONEZ

**DESEMPENHO DE LINHAGENS HOMOZIGOTAS DE SOJA E AMPLIAÇÃO DE VARIABILIDADE GENÉTICA
POR MEIO DE HIBRIDAÇÃO ARTIFICIAL**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ciências Agrárias da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Agroecossistemas.

Data de aprovação: 09 de Dezembro de 2024

Dr. Carlos Andre Bahry, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Ivan Ricardo Carvalho, Doutorado - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Unijui)

Dra. Maristela Dos Santos Rey, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 09/12/2024.

Dedico esta trajetória a Deus, minha família e a mim mesma, por me guiarem em um caminho de aprendizados e transformações.

AGRADECIMENTOS

Do fundo do coração, expresso minha mais profunda gratidão a todos que fizeram parte dessa jornada.

Elevo minha gratidão a **Deus** e à **própria vida**, que, em sua sabedoria, me permitiram enfrentar desafios, aprender com cada experiência e seguir adiante. Carrego a certeza de que o caminho ainda reserva muito a construir, descobrir e compartilhar.

À minha família, a base de tudo o que sou: meus amados avós **Carmen e Hernan**, minha mãe **Alexandra**, meus pais **Roberto** e **Mario**, meus irmãos **Mateo, Erick e Kelly**, além de meus tios **Iti, Paquito, Marlon, Carlitos**, tias **Mayu, Olguita, Mari**, **primos** e, claro, a **Javivi. Amo vocês eternamente.**

Aos que estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis, minha eterna gratidão pela paciência, compreensão e parceria **Vozinho e Anabel**. Obrigada, meus amigos **Fernanda, Eduardo, Elius, Cley, Miguel, Nathan, Shey, Gustavo e João**, todo o meu grupo da pós-graduação, vocês me mostraram, com seu apoio e amizade, que nunca estive sozinha.

Agradeço especialmente ao meu orientador, **Carlos Bahry**, por cada ensinamento, pela orientação inestimável e pelo apoio constante. À minha banca avaliadora, minha sincera gratidão por dedicarem seu tempo valioso à análise do meu trabalho.

Na UTFPR, tive a oportunidade de conhecer professores e servidores excepcionais, como o professor **Humberto** e o professor **Drauzio**, que, mesmo em encontros breves, deixaram marcas importantes. Agradeço também aos servidores da **COEXP** que hoje posso chamar de amigos, tornando meu trabalho muito mais leve e enriquecedor, especialmente ao operador de máquinas agrícolas **Sidinei Kurkievicz**.

No **Grupo de Manejo de Culturas**, agradeço aos companheiros de trabalho que tanto contribuíram para meu mestrado e aprendizado, especialmente à **Bianca Verona**, que se tornou uma grande amiga.

Sou profundamente grata às instituições que me proporcionaram a oportunidade de crescimento profissional por meio da bolsa de estudo, como o **GCUB**, a **Insuagro Insumos Agrícolas LTDA**, cuja confiança e apoio foram fundamentais para o meu desenvolvimento.

Ao **CNPq**, número:167846/2022-1. MAI/DAI 2020-Chamada CNPq Nº 12/2020 - Programa de Mestrado e Doutorado Acadêmico para Inovação - MAI/DAI.

Com todo o meu carinho e gratidão,

Elizabeth

"O maior aspecto da ciência não é que ela nos dá respostas, mas que nos ensina a fazer perguntas melhores" (TYSON, 2023)

RESUMO

A demanda por cultivares de soja de ciclo mais curto e com alto potencial produtivo tem crescido nos últimos anos por parte dos produtores, especialmente nos modelos de exploração agrícola em que se adota safra e safrinha. O objetivo geral deste trabalho foi avançar linhagens homozigotas de soja obtidas por meio de hibridação artificial e promover sua adaptação ao ambiente específico do sudoeste do Paraná, com características de precocidade e produtividade. O local de condução dos estudos foi na UTFPR, Campus Dois Vizinhos. Nos Estudos 1.1 e 1.2, oito genótipos de soja, cinco linhagens homozigotas e três cultivares comerciais, foram avaliadas quanto à sua produtividade de grãos nas safras 2021/22, 2022/23 e 2023/24 e em locais de menor e de maior fertilidade. O delineamento foi de blocos ao acaso, com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e comparados por Scott Knott. Dendogramas foram elaborados a partir da produtividade de grãos para verificar a formação de grupos similares. As análises de adaptabilidade e estabilidade produtiva foram realizadas pelos métodos de Wricke e Annichiarico. No Estudo 2 realizou-se a hibridação artificial entre linhagens e cultivares comerciais de soja visando a ampliação de variabilidade genética para o avanço de novas gerações segregantes. Este estudo foi realizado em casa de vegetação, nas safras 2022/23 e 2023/24, com posterior avanço de linhagens em campo. A Linhagem 1 se destacou quanto à sua produtividade média nas três safras conduzidas no mesmo local, apresentando alto índice de confiança genotípica. A Linhagem 4, na área de menor fertilidade, e as Linhagens 1 e 2, na área de maior fertilidade, se destacaram quanto à sua produtividade média, com valores semelhantes ou até melhores que as cultivares controle, na safra 2023/24. A safra 2021/22 e a área de menor fertilidade, na safra 2023/24, foram consideradas como ambientes desfavoráveis para a cultura da soja, a primeira devido ao longo período de déficit hídrico e a segunda em função da química do solo. A percentagem de hibridações consolidadas foi considerada baixa, devido às condições não apropriadas da casa de vegetação quanto à amplitude térmica e umidade relativa do ar.

Palavras-chave: *Glycine max*; melhoramento genético; produtividade de grãos; adaptabilidade e estabilidade.

ABSTRACT

The demand for shorter-cycle soybean cultivars with high production potential has grown in recent years among farmers, especially in agricultural models that adopt both a crop and a second crop. The aim of this study was to advance homozygous soybean lines obtained through artificial hybridization and promote their adaptation to the specific environment of southwestern Paraná, with traits of precocity and productivity. The studies were conducted at UTFPR, Dois Vizinhos Campus. In Studies 1.1 and 1.2, eight soybean genotypes, five homozygous lines, and three commercial cultivars were evaluated for their grain productivity in the 2021/22, 2022/23, and 2023/24 crop seasons and in locations with lower and higher fertility. The design was randomized blocks, with three replicates. The data were subjected to analysis of variance and compared by Scott Knott. Dendrograms were prepared based on grain yield to verify the formation of similar groups. Adaptability and productive stability analyses were performed using the Wricke and Annichiarico methods. In Study 2, artificial hybridization was performed between commercial soybean lines and cultivars to expand genetic variability for the advancement of new segregating generations. This study was carried out in a greenhouse in the 2022/23 and 2023/24 crop seasons, with subsequent advancement of lines in the field. Line 1 stood out regarding its average productivity in the three crop seasons conducted in the same location, presenting a high genotypic confidence index. Line 4, in the area of lower fertility, and Lines 1 and 2, in the area of higher fertility, stood out regarding their average productivity, with values similar to or even better than the control cultivars, in the 2023/24 crop season. The 2021/22 crop season and the area with the lowest fertility in the 2023/24 crop season were considered unfavorable environments for soybean cultivation, the first due to the long period of water deficit and the second due to soil chemistry. The percentage of consolidated hybridizations was considered low due to the unsuitable conditions of the greenhouse regarding thermal amplitude and relative humidity.

Keywords: *Glycine max*; genetic breeding; grain productivity; adaptability and stability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Dados de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação e datas de semeadura e colheita de genótipos de soja avaliados nas safras 2021/22, 2022/23 e 2023/24.....	22
Figura 2 - Dendrograma do agrupamento de genótipos de soja em função da produtividade de grãos das safras 2021/22, 2022/23 e 2023/4. C- Cultivar; L- Linhagem.	29
Figura 3 - Análise de estabilidade produtiva, pelo método de Wricke, para oito genótipos de soja em três safras.....	30
Figura 4 - Dendrograma do agrupamento de genótipos de soja em função da produtividade de grãos das localidades. C- Cultivar; L- Linhagem.....	36
Figura 5 - Análise de estabilidade produtiva, pelo método de Wricke, para oito genótipos de soja cultivados em dois locais contrastantes para a química do solo.....	37
Figura 6 - Total de hibridações artificiais realizadas nas safras 2022/23 e 2023/24 e percentagem de hibridações consolidadas.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de genótipos utilizados para hibridação artificial e momentos de semeadura.	23
Tabela 2 - Relação de genótipos utilizados para hibridação artificial e momentos de semeadura.	24
Tabela 3 - Resumo da análise de variância para a produtividade de grãos de genótipos de soja em três safras de cultivo.	26
Tabela 4 - Dados médios de produtividade de grãos em função da interação entre genótipos de soja e safras de cultivo.	26
Tabela 5 - Classificação das para a avaliação de desempenho de oito genótipos de soja, pelo método de Annicchiarico.	32
Tabela 6 - Desempenho e estabilidade de oito genótipos de soja avaliados em três safras pelo método de Annicchiarico.	32
Tabela 7 - Resumo da análise de variância para a produtividade de grãos de genótipos de soja em dois locais de cultivo na safra 2023/24.	34
Tabela 8 - Dados médios de produtividade de grãos em função da interação entre genótipos de soja e locais de cultivo na safra 2023/24.	34
Tabela 9 - Classificação das para a avaliação de desempenho de oito genótipos de soja, pelo método de Annicchiarico.	37
Tabela 10 - Desempenho e estabilidade de oito genótipos de soja avaliados em três safras pelo método de Annicchiarico.	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	Características da planta de soja.....	14
2.2	Melhoramento genético da soja	15
2.3	Interação genótipo e ambiente de produção	16
2.4	Adequação do ciclo da soja aos modelos de produção regionais ..	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	Caracterização da região do estudo	19
3.2	Estudo 1 – desempenho de linhagens homozigotas de soja	19
3.2.1	Caracterização do local do ensaio.....	19
3.2.2	Estudo 1.1 – Desempenho de linhagens de soja em diferentes safras...19	
3.2.2.1	Obtenção do material vegetal.....	19
3.2.2.2	Condução do Estudo 1.1	20
3.2.2.3	Procedimento estatístico	21
3.2.3	Estudo 1.2 – Desempenho de linhagens de soja em diferentes locais...21	
3.3	Levantamento de dados climáticos	22
3.4	Estudo 2 - hibridação artificial de soja e avanço de segregantes....	23
3.4.1	Estudo 2.1 - Safra 2022/23.....	23
3.4.2	Estudo 2.2 - Safra 2023/24.....	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	Estudo 1 – desempenho de linhagens homozigotas de soja	26
4.1.1	Estudo 1.1 – Desempenho de linhagens de soja em diferentes safras ..26	
4.1.2	Estudo 1.2 – Desempenho produtivo de linhagens de soja em diferentes locais.....	33
4.2	Estudo 2 - hibridação artificial de soja e avanço de segregantes....	38
4.2.1	Estudo 2.1 - Safra 2022/23 e Estudo 2.2 – Safra 2023/24	38
5	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS.....	43
	ANEXO A – Descrição dos genótipos avaliados.	54

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de soja do mundo (BRITO; SILVA; LEÃO, 2023). A adaptação da cultura aos diferentes ambientes edafoclimáticos que ocorrem no país e o clima favorável contribuíram, nas últimas décadas, com o intenso aumento de área cultivada e da produtividade de grãos; impulsionadas pelas demandas interna e externa, especialmente da China (HALISKI; DE OLIVEIRA; DOS SANTOS, 2020).

Os grãos produzidos por esta aleuro-oleaginosa são versáteis quanto à sua utilização pela indústria. Os principais produtos gerados são o farelo, rico em proteína, e destinado para arração animal, e o óleo, destinado principalmente para consumo humano direto e biodiesel (AVELAR; TANNUS, 2022; COELHO, 2021).

Este cenário positivo gera muitas oportunidades à toda cadeia produtiva da soja e ao Brasil. No entanto, muitos desafios se revelam a cada safra, exigindo dos produtores rurais resiliência e capacidade de gestão de riscos para rentabilizar adequadamente a atividade (DE LIMA et al., 2024).

As frequentes mudanças observadas quanto ao clima durante as últimas safras, com agravamento de fenômenos como o *El Niño* e *La Niña*, e o surgimento de novas pragas e doenças de importância econômica, têm deixado os produtores rurais e profissionais de campo em alerta e atuantes para minimizar seus impactos nos custos de produção (PICCININ; ROSSATO, 2018).

Outra questão que também tem gerado mudanças significativas na forma de se produzir soja é o uso mais intensivo das áreas (CARNEIRO; DUARTE; DA COSTA, 2015). Tem-se buscado otimizar a sua exploração no sentido de se agregar mais renda ao negócio por meio da diversificação de cultivos e pela manutenção dos solos sempre com alguma cultura de interesse sob cultivo, seja para produção de grãos ou com plantas de serviço (DEBIASI et al., 2020).

Uma estratégia de cultivo muito explorada no Brasil é a sucessão de cultivos em uma mesma estação do ano. Estratégias como soja safra e milho, feijão ou algodão safrinha são comumente implementadas pelos produtores rurais, adequando as culturas de safrinha à cada região de cultivo em função da viabilidade técnica e econômica desse modelo (SALOMÃO, 2017; FOLLMANN et al., 2017).

A soja é considerada como a cultura principal nos diferentes sistemas de produção de grãos para a maior parte dos produtores brasileiros (FERREIRA;

FREITAS; MOREIRA, 2015). Mesmo assim, com esses novos modelos de exploração agrícola, a cultura também tem passado por mudanças significativas no perfil das cultivares para se adequar à essa nova realidade e aos diferentes ambientes edafoclimáticos (TORRES et al., 2015).

Uma característica marcante das cultivares atuais em relação às antigas, além dos eventos biotecnológicos incorporados, é a redução de ciclo, representado pelo grupo de maturidade relativa (GMR) (LANGEWISCH et al., 2017). De acordo com essa classificação, quanto menor o seu valor para determinada faixa de latitude, menor o período compreendido entre a emergência e a maturidade fisiológica das plantas (JIA et al., 2014; BAHRY et al., 2020).

Essa tendência visa permitir a manutenção da soja por menos tempo na área, sem que a sua produtividade seja comprometida, para que a cultura em sucessão seja semeada mais cedo, minimizando os riscos inerentes ao período de safrinha e ou para aumentar o potencial produtivo da cultura implantada em sequência (GESTEIRA et al., 2015).

Diante desse cenário, muitos desafios são impostos ao melhoramento genético, visto que é preciso conciliar redução de ciclo e aumento de produtividade (DOS PASSOS et al., 2014).

Uma forma de aumentar a probabilidade de se obter cultivares mais versáteis e produtivas, e atender a demanda de mercado diante dos novos modelos de cultivo, é o avanço de linhagens em ambientes específicos, visto que durante este processo pode-se aumentar as chances de seleção de genótipos mais adaptados e estáveis a estes ambientes, com vias de sua promoção como cultivar comercial (DÍAZ-SOLIS et al., 2019).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avançar linhagens homozigotas de soja obtidas por meio de hibridação artificial e promover sua adaptação ao ambiente específico do sudoeste do Paraná, com características de precocidade e produtividade.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar o desempenho produtivo de linhagens de soja homozigotas em diferentes ambientes de produção no sudoeste do Paraná.
- b) Comparar o desempenho produtivo de linhagens homozigotas de soja com cultivares comerciais de GMR semelhantes.
- c) Verificar a adaptabilidade e a estabilidade produtiva de linhagens homozigotas de soja e de cultivares comerciais em diferentes ambientes de produção.
- d) Gerar, a partir de hibridação artificial, novas linhagens segregantes para seleção de características de interesse em safras subsequentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características da planta de soja

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma *Fabaceae*, autógama, com reprodução sexuada e que responde à temperatura e ao fotoperíodo, sendo considerada uma espécie de dias curtos (TEJO; FERNANDES; BURATTO, 2019)

O desenvolvimento da soja é dividido em duas fases principais, a fase vegetativa (V), compreendida de VE (emergência) até Vn, e a reprodutiva (R), compreendida de R1 (início do florescimento) até R8 (maturação de colheita) (DA SILVA, 2023). A escala fenológica mais adotada para a compreensão dos estádios de desenvolvimento da soja é a de Fehr; Caviness (1977).

O conhecimento dos estádios de desenvolvimento da soja permite compreender as demandas da cultura ao longo de sua ontogenia (GÓMEZ et al., 2021), fato este que otimiza o emprego de estratégias de manejo e tecnologias de forma mais assertiva, contribuindo com o incremento de produtividade (SUHRE et al., 2014), ou minimizando perdas potenciais (GAO et al., 2020).

As cultivares de soja são atualmente classificadas por grupos de maturidade relativa (GMR) para identificação de seu ciclo para uma mesma faixa de latitude (AMARAL et al., 2022). Nesse sentido, quanto menor o valor do GMR menor é o ciclo e, quanto maior o GMR, maior o ciclo da cultivar (CAVINATTO, 2022).

A soja tem a capacidade de realizar simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, especificamente do gênero *Bradyrhizobium*. Neste processo, as bactérias que se encontram nos nódulos formados nas raízes transferem à planta o N na forma assimilável e a planta contribui com o fornecimento de fotoassimilados para a sobrevivência destas (OMARI et al., 2022; SAVALA et al., 2021).

Esta simbiose é um exemplo de sustentabilidade na produção da soja brasileira, visto que é possível obter altas produtividades sem adição de fertilizantes nitrogenados na cultura (SARANRAJ et al., 2021; JARECKI, 2023). A considerar que, em média, é necessário 80 kg de N por tonelada de grãos produzida (PRANDO et al., 2019).

Os grãos de soja são versáteis para utilização o que justifica a sua ampla demanda mundial (OLIVEIRA; HECHT, 2016). Estes possuem em torno de 20% de

lipídeos, 38% de proteínas, 38% de carboidratos e 4% de cinzas, aproximadamente (HERNANDEZ et al., 2014).

2.2 Melhoramento genético da soja

O melhoramento genético desempenha um papel fundamental na cultura da soja, sendo crucial para aumentar a produtividade e a sustentabilidade da cultura (JIANG et al., 2023). A inovação também contribui para atender a crescente demanda mundial por alimentos, tendo o Brasil um papel de destaque nesse segmento global (AMABILE; VILELA; PEIXOTO, 2018).

A partir da hibridação artificial entre genótipos contrastantes é possível ampliar a variabilidade genética do germoplasma disponível, permitindo aos pesquisadores selecionar linhagens com características específicas, com vias ao lançamento de cultivares promissoras (MATSUO et al., 2015; HANAFIAH et al., 2023).

Os programas de melhoramento da soja têm-se concentrado nos últimos anos ao desenvolvimento de cultivares mais ajustadas às demandas observadas nos diferentes ambientes de produção, como resistência ou tolerância às pragas e às doenças, menor acamamento de plantas, redução de ciclo e, principalmente, ganhos de potencial produtivo (JIANG et al., 2023). Assim como a busca por tolerância aos fatores estressantes do ambiente de produção, como déficit hídrico e amplitudes térmicas (VIANA et al., 2021).

Estratégias como estas têm permitido que as novas cultivares apresentem características de interesse agrônomo superiores às cultivares mais antigas ou mesmo em relação aos seus genitores (RIMIERI, 2017).

Esse ganho genético tem apresentado respostas diferenciais a partir da região em que são conduzidas as pesquisas e do intervalo em que se é considerado o lançamento das cultivares (MILIOLI, 2021). Todeschini et al. (2019), por exemplo, constataram ganho genético para produtividade da soja em torno de $40 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, equivalente a $2,4\% \text{ ano}^{-1}$ no sul do Brasil, para cultivares lançadas no intervalo entre 1965 e 2011.

Ainda segundo os autores, esse ganho genético em produtividade está relacionado ao maior índice de colheita das cultivares mais atuais, ao número de vagens por planta, às trocas gasosas e à menor duração da fase vegetativa (TODESCHINI et al., 2019).

Na região central do Brasil, Mezzalira (2017) observou ganhos produtivos na soja de $18,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em cultivares lançadas entre 2006/07 a 2015/16, equivalendo ao ganho genético de 0,59% ao ano.

Campos et al. (2023) verificaram ganho genético de 1,92% na soja, em cultivares lançadas entre os anos 2000 e 2017/18 no centro oeste do Brasil, equivalendo a $27,61 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Em estudo conduzido por Abdala, Otegui; Mauro (2024), com cultivares de soja lançadas a partir de 2010, foram estimados os efeitos do melhoramento no rendimento e na estabilidade entre ambientes de baixo, médio e alto desempenho no Brasil; verificou-se ganhos de 43,0, 40,5 e $17,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, representando percentagem média de 0,9%, 1,0% e 0,5% ano^{-1} para cada ambiente, respectivamente.

2.3 Interação genótipo e ambiente de produção

A produtividade da soja depende de muitos fatores bem como de sua interação, dentre os quais a genética da cultivar utilizada, as condições edafoclimáticas prevaletentes durante a permanência da cultura na lavoura e do manejo adotado nas diferentes etapas do processo produtivo. Logo, a resposta de desempenho de uma cultivar é muito variável (RANI et al., 2022).

Viabilizar um ambiente de produção adequado, atendendo as exigências da cultura da soja, é fundamental para que as cultivares expressem ao máximo o seu potencial produtivo, visto que o seu metabolismo e respostas fisiológicas irão convergir para maximizar os resultados de desempenho (BATISTA; RAMÍREZ; RODRÍGUEZ, 2018).

Essa interação do genótipo com o ambiente de produção (G X A) traz muitos desafios aos pesquisadores, tornando o desenvolvimento de cultivares um processo complexo, especialmente quando se trabalha com características quantitativas (BATISTA et al., 2015). Para se atingir maiores produtividades da soja é fundamental que ocorram interações G x A favoráveis durante o ciclo da cultura (ALBUQUERQUE et al., 2023).

A avaliação dessa interação contribui para que pesquisadores atuem na seleção de cultivares superiores, com expressão positiva para a característica produtividade de grãos, dentre outras características fenotípicas de interesse

(BIANCHI et al., 2020), que irão sofrer influência direta do ambiente de produção (SHAW; KAKUDA; RAJCAN, 2016).

Fatores como região de cultivo, época de semeadura, características químicas, físicas e biológicas do solo, fotoperíodo, disponibilidade hídrica, radiação solar e temperatura, pragas, doenças, dentre outros, irão influenciar nessa resposta (FERNANDES; DE MELO; BATTISTI, 2022; TEJO et al., 2019). Para tanto, a exploração de cultivares mais adaptadas e estáveis ao ambiente de produção é importante (STANIAK; KROK; KOCIRA, 2023).

A adaptabilidade é definida como a capacidade de um genótipo em apresentar respostas positivas para as características de interesse à melhoria do ambiente de produção. A estabilidade fenotípica está relacionada à previsibilidade do genótipo quando exposto às variações de ambiente (EVANGELISTA et al., 2021).

Estudos de adaptabilidade e estabilidade produtiva, de grãos e sementes (SILVA et al., 2017), são fundamentais para obter resultados consistentes quanto ao comportamento de novos genótipos de soja (CAVALCANTE et al., 2014). No entanto, nem sempre é possível reunir em um mesmo genótipos estas características, tornando o melhoramento genético um desafio aos pesquisadores (BAHRY et al., 2020).

2.4 Adequação do ciclo da soja aos modelos de produção regionais

A exploração intensiva das áreas agricultáveis, buscando-se evitar o pousio, tem sido uma realidade em muitas regiões produtoras de grãos no Brasil (MACIEL et al., 2020). Nessa modalidade, o produtor colhe a cultura que finalizou o ciclo e imediatamente atrás da colhedora o processo de semeadura da nova cultura é iniciado (SALOMÃO, 2017).

Essa estratégia possibilita o cultivo de duas culturas em sucessão na mesma estação do ano (safra e safrinha), otimizando o uso das áreas e do maquinário disponível. É uma forma de diluir os custos fixos do negócio e os riscos inerentes à atividade agrícola, especialmente às ocorrências climáticas desfavoráveis e às variações de preço dos produtos agrícolas (FOLLMANN et al., 2017; BRUMATTI; PIRES; SANTOS, 2020).

Diante desse novo cenário, as empresas de melhoramento genético têm disponibilizado aos produtores rurais cultivares com características muito diferentes

em relação às cultivares mais antigas, exploradas há poucos anos atrás e, também, com muito mais opções de escolha a cada safra, bem como alta rotação destes genótipos em seus portfólios (DEBIASI et al., 2020; MAGALHAES et al., 2020).

Dentre as características que se destacam, os organismos geneticamente modificados (OGMs) é a principal delas, seja por transgenia ou não, especialmente para a resistência a herbicidas e controle de insetos pragas mastigadoras; mas também algumas doenças e, recentemente, tolerância ao déficit hídrico (DUKE, 2014; VAN ESSE; REUBER; DER DOES, 2020).

É importante destacar o incremento de produtividade das novas cultivares, para as principais culturas de interesse econômico (ANDERSON et al., 2019), aliada à redução de ciclo, conferindo plantas mais compactas, eficientes e responsivas à melhoria do ambiente de produção (SAHARA; SUSILA; TRIASTONO, 2024). Porém, mais exigentes em manejo e tecnologias para expressar ao máximo o seu potencial produtivo (WINCK, 2022).

Segundo Egli e Bruening (2000), o uso de cultivares precoces garante uma colheita antecipada para otimizar a utilização do solo em sistemas de safra e safrinha, sem perdas no rendimento. Essas cultivares também apresentam benefícios na eficiência de absorção de radiação solar e eficiência de absorção de nitrogênio (SANTACHIARA; BORRÁS; ROTUNDO, 2017).

Outra característica das cultivares mais precoces é quanto à sua sensibilidade ao fotoperíodo. De acordo com Yang et al. (2019), estas apresentam fotoperíodo crítico mais alto, o que lhes proporciona o início da floração mais cedo. A considerar a época de semeadura da soja e as possíveis variações de precipitação ao longo do ciclo, neste caso, é uma estratégia importante para o escape aos estresses do ambiente de produção (KAVA, 2017).

Por outro lado, o desenvolvimento de cultivares com ciclo muito curto ou muito longo e que não estejam devidamente adaptadas a determinada região podem ter a sua produtividade comprometida (ZDZIARSK et al., 2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da região do estudo

O município de Dois Vizinhos encontra-se no terceiro planalto, região sudoeste do Paraná, com altitude média de 520 m (BOSQUILIA et al., 2016).

O clima é classificado, de acordo com Köppen, como subtropical úmido mesotérmico (Cfa), sem estação seca definida e precipitação em torno de 2.000 mm por ano, com temperatura média entre 20 e 22°C (ALVARES, 2014).

3.2 Estudo 1 – desempenho de linhagens homozigotas de soja

3.2.1 Caracterização do local do ensaio

O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus de Dois Vizinhos, latitude de 25°44" Sul e longitude de 54°04" Oeste, altitude de 509 m, sendo o solo predominante classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico típico (BOSQUILIA et al., 2016).

3.2.2 Estudo 1.1 – Desempenho de linhagens de soja em diferentes safras

3.2.2.1 Obtenção do material vegetal

As linhagens homozigotas avaliadas no Estudo 1 foram geradas de uma hibridação artificial tendo como genitores uma cultivar de GMR 6.7 e uma de GMR 5.1, ambas com tecnologia *Roundup Ready*® (RR®).

A escolha desta combinação se deu pelo fato de a cultivar de Grupo de Maturidade Relativa (GMR) maior ser a mais cultivada no sul do Brasil na oportunidade, devido ao seu alto desempenho produtivo. Já a cultivar de menor GMR foi selecionada por ter ciclo curto, bom desempenho produtivo e estar adaptada à região e ao modelo de exploração dos sistemas agrícolas.

Nas gerações segregantes F3 e F4 passou a selecionar-se no campo as plantas com ciclo mais curto, visando adequar às características do modelo de cultivo safra – safrinha do sudoeste do Paraná.

Na geração F5 estas linhagens foram semeadas em linhas individuais ao lado de linhas de diversas cultivares comerciais de GMR conhecidos e indicadas para a

região. Ao final do ciclo realizou-se a comparação entre os genótipos anotando-se a duração em dias entre a emergência e a maturidade fisiológica das linhagens e das cultivares.

Por meio desse levantamento definiu-se que as linhagens apresentaram GMR aproximado entre 4.8 e 5.2. Logo, escolheu-se também três cultivares comerciais com GMRs próximos às linhagens, que eram exploradas comercialmente na região, tendo como destaque o seu ciclo curto e desempenho produtivo, para servirem de controle.

3.2.2.2 Condução do Estudo 1.1

Este estudo foi conduzido em blocos ao acaso nas safras 2021/22, 2022/23 e 2023/24, com semeaduras ocorrendo em 09/10/2021, 26/10/2022 e 16/10/2023, respectivamente.

A área de lavoura está sob plantio direto consolidado, apresentando as seguintes características químicas, na camada de 0-20cm: Matéria Orgânica (MO): 36 g dm⁻³, pH: 5,3, Fósforo (P): 21,0 mgdm⁻³, Potássio (K): 4,3 cmolcdm⁻³, Saturação de Alumínio (Al%): 0%, Saturação de Bases (V%): 59%.

Cinco linhagens homozigotas e três cultivares comerciais de soja foram semeadas nas três safras. Na primeira safra as linhagens se encontravam na geração F6; na safra 2022/23 na geração F7; e, na safra 2023/24, na geração F8.

Dessa forma, o conjunto de genótipos ficou assim definido: Linhagem 1 (Codificação Interna [CI] 105), Linhagem 2 (CI 115), Linhagem 3 (CI 124), Linhagem 4 (CI 127) e Linhagem 5 (146), Cultivar 1 (GMR 4.8 - RR®); Cultivar 2 (GMR 5.0 - IPRO®) e Cultivar 3 (GMR 5.2 - IPRO®). Alguns dos descritores morfológicos dos genótipos avaliados encontram-se no Anexo 1, em que se adotou a metodologia do MAPA (2019).

O manejo de plantas daninhas, pragas e doenças, bem como de adubação, foi o mesmo para todos os genótipos, seguindo o monitoramento da área e fazendo-se uso de insumos recomendados para a cultura, quando da sua necessidade de utilização.

A variável resposta analisada foi a produtividade de grãos, em Kg por hectare. Para tanto, três repetições de 3 linhas e 2 metros de comprimento foi considerado, totalizando área útil de 2,7m², nas duas primeiras safras. Na terceira safra adotou-se 4 linhas x 3 metros de comprimento como unidade de observação.

Depois de colhidas as plantas, estas foram trilhadas em trilhadora elétrica e as sementes foram limpas com auxílio de peneiras portáteis. Estas tiveram sua umidade determinada em determinador digital portátil, foram pesadas em balança de precisão 3.000g e tiveram sua umidade corrigida para 12%, extrapolando-se a sua massa para hectare, expressa em Kg ha⁻¹.

3.2.2.3 Procedimento estatístico

Os dados foram organizados em um esquema bifatorial, sendo o Fator 1 representado por oito genótipos de soja (5 linhagens e 3 cultivares comerciais) e o Fator 2 pelas três safras (2021/22, 2022/23 e 2023/24).

Procedeu-se com a análise de variância e após, verificando-se interação entre os fatores, realizou-se o teste de comparação de médias por Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Para visualizar a formação de grupos próximos entre si, a partir da variável produtividade de grãos, realizou-se a construção de dendrograma.

As análises de adaptabilidade e estabilidade produtiva dos genótipos foram realizadas por meio dos métodos de Wricke (WRICKE, 1965) e Annichiarico (ANNICCHIARICO, 1992).

Os pacotes estatísticos utilizados foram o RBio (BHERING, 2017) e o Genes (CRUZ, 2016).

3.2.3 Estudo 1.2 – Desempenho de linhagens de soja em diferentes locais

Este estudo foi conduzido na safra 2023/24 na UTFPR, Campus Dois Vizinhos, em dois locais contrastantes para a química do solo. O primeiro local foi nominado como de maior fertilidade, estando descrito quanto à sua caracterização química no item 4.2.2.2.

O segundo local, nominado como de menor fertilidade, apresenta as seguintes características químicas, na camada de 0-20cm: Matéria Orgânica (MO): 26 g dm⁻³, pH: 4,5, Fósforo (P): 1,64 mgdm⁻³, Potássio (K): 0,5 cmolcdm⁻³, Saturação de Alumínio (Al%): 4,3%, Saturação de Bases (V%): 48,5%.

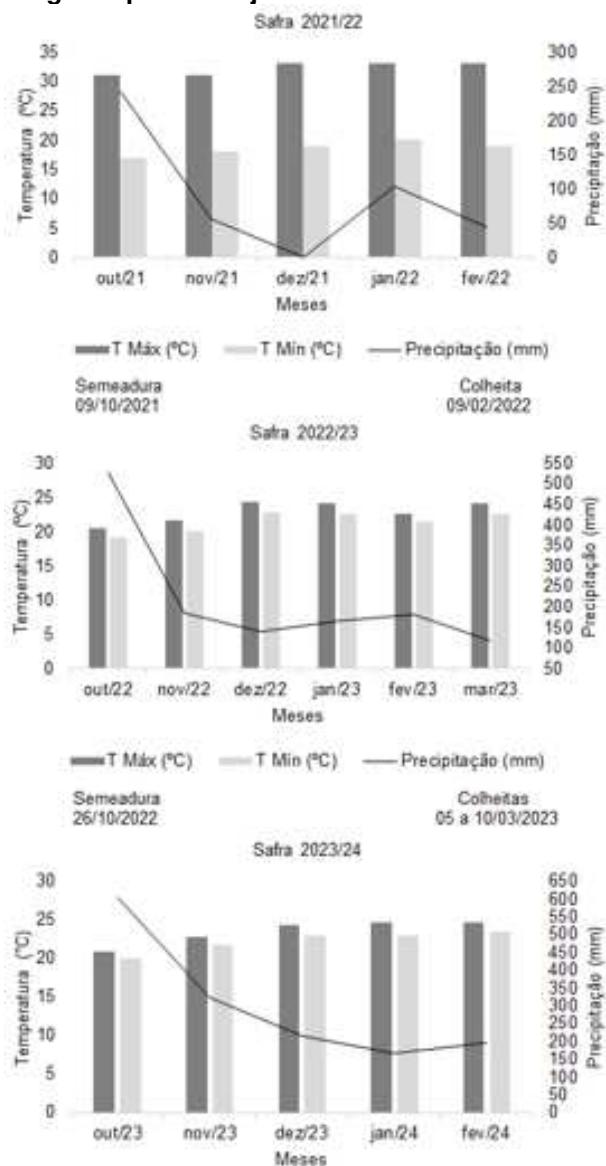
Todo o procedimento inerente à metodologia, condução, avaliação, e procedimento estatístico seguiu o descrito no item 4.2.2.2, para a safra 2023/24. A alteração ocorreu em função do bifatorial, sendo o Fator 1 os genótipos já

mencionados e o Fator 2 representado por dois locais de condução, o de maior e o de menor fertilidade.

3.3 Levantamento de dados climáticos

Os dados médios de temperatura mensal (mínima média, máxima média e média geral) e precipitação pluviométrica (milímetros por mês) foram obtidos do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período compreendido entre 2021 e 2024. Estes encontram-se apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Dados de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação e datas de semeadura e colheita de genótipos de soja avaliados nas safras 2021/22, 2022/23 e 2023/24.



Fonte: Adaptado de Inmet (2022, 2023, 2024).

3.4 Estudo 2 - hibridação artificial de soja e avanço de segregantes

3.4.1 Estudo 2.1 - Safra 2022/23

Em concomitância ao Estudo 1, procedeu-se com a realização de hibridações artificiais entre genótipos de soja que compõe o banco de germoplasma do presente projeto e o avanço de segregantes, a partir dos cruzamentos consolidados; sendo este estudo conduzido em casa de vegetação.

Para tanto, foram selecionadas nove cultivares comerciais de soja exploradas pelos produtores rurais no sudoeste do Paraná e as cinco linhagens homozigotas em avaliação no Estudo 1, semeadas em intervalos sequenciais para sincronizar o florescimento dos genótipos contrastantes para grupo de maturidade fisiológica e ampliar a janela disponível para hibridação, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Relação de genótipos utilizados para hibridação artificial e momentos de semeadura.

GMR	Genótipos	Semeadura 1	Semeadura 2	Semeadura 3
6.0	Cultivar 1	28/10/2022	11/11/2022	02/12/2022
5.8	Cultivar 2	28/10/2022	11/11/2022	02/12/2022
5.0	Cultivar 3	28/10/2022	11/11/2022	02/12/2022
5.9	Cultivar 4	28/10/2022	11/11/2022	02/12/2022
6.0	Cultivar 5	28/10/2022	11/11/2022	02/12/2022
5.7	Cultivar 6	28/10/2022	11/11/2022	02/12/2022
5.4	Cultivar 7	01/11/2022	16/11/2022	06/12/2022
4.8	Cultivar 8	04/11/2022	19/11/2022	09/12/2022
5.2	Cultivar 9	04/11/2022	19/11/2022	09/12/2022
5.0*	Linhagem 1	04/11/2022	19/11/2022	09/12/2022
5.0*	Linhagem 2	04/11/2022	19/11/2022	09/12/2022
5.0*	Linhagem 3	04/11/2022	19/11/2022	09/12/2022
5.0*	Linhagem 4	04/11/2022	19/11/2022	09/12/2022
5.0*	Linhagem 5	04/11/2022	19/11/2022	09/12/2022

*Provável GMR das linhagens.

Fonte: Autoria própria (2024).

As sementes de cada genótipo foram semeadas em três vasos de 8L contendo solo de lavoura em cada época. De um total de 10 sementes, após a emergência, optou-se por manter duas plantas por vaso.

O monitoramento de irrigação, pragas e doenças ocorreu diariamente, visando manter a integridade e a sanidade das plantas. No florescimento pleno procedeu-se com as hibridações artificiais, de forma manual com auxílio de pinça específica para essa finalidade. Esta prática ocorreu todos os dias enquanto havia flores aptas para o procedimento, de acordo com (KRAUSE, 2019).

As hibridações efetivadas, em que tiveram a formação de vagens com sementes, foram colhidas individualmente, identificadas e semeadas imediatamente em baldes, na casa de vegetação, para avançar a primeira geração segregante (F1). Ao término do ciclo, as plantas provenientes destas sementes foram trilhadas manualmente, identificadas e as suas sementes armazenadas em ambiente com temperatura controlada, a 18°C.

Estas sementes multiplicadas, agora estando na geração segregante F2, foram semeadas a campo, por meio de abertura de linhas, na safra 2023/24, no mês de outubro, visando o avanço de geração. O manejo de adubação, plantas daninhas, pragas e doenças foi o mesmo empregado no Estudo 1. As sementes geradas destas plantas provenientes de cada linha foram colhidas e trilhadas manualmente, sendo novamente implantadas, já na geração F3, na safra 2024/25.

3.4.2 Estudo 2.2 - Safra 2023/24

Semelhante ao procedimento descrito no item 4.4.1 (Estudo 2.1), na safra 2023/24 foram selecionadas sete cultivares comerciais de soja e quatro linhagens homozigotas em avaliação no Estudo 1 para a realização de novas hibridações e avanço de segregantes, como descrito na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação de genótipos utilizados para hibridação artificial e momentos de semeadura.

GMR	Genótipos	Semeadura 1	Semeadura 2
6.0	Cultivar 1	02/08/2023	16/08/2023
5.8	Cultivar 2	02/08/2023	16/08/2023
6.2	Cultivar 3	02/08/2023	16/08/2023
5.9	Cultivar 4	07/08/2023	21/08/2023
5.4	Cultivar 5	07/08/2023	21/08/2023
5.2	Cultivar 6	11/08/2023	28/08/2023
5.0	Cultivar 7	11/08/2023	28/08/2023
5.0*	Linhagem 1	11/08/2023	28/08/2023
5.0*	Linhagem 2	11/08/2023	28/08/2023
5.0*	Linhagem 3	11/08/2023	28/08/2023
5.0*	Linhagem 4	11/08/2023	28/08/2023

*Provável GMR das linhagens.

Fonte: Autoria própria (2024).

As hibridações consolidadas tiveram suas sementes imediatamente semeadas em baldes para o avanço de geração segregante F1, sendo as plantas obtidas trilhadas individualmente, identificadas e armazenadas em ambiente

controlado, com posterior semeadura a campo, na safra 2024/25 da geração F2, visando continuar o avanço de segregantes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo 1 – desempenho de linhagens homozigotas de soja

4.1.1 Estudo 1.1 – Desempenho de linhagens de soja em diferentes safras

A análise de variância indicou a ocorrência de interação entre os fatores genótipos de soja e safras de cultivo para a variável produtividade de grãos (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para a produtividade de grãos de genótipos de soja em três safras de cultivo.

FV	GL	Quadrado médio	
Blocos	2	16412	ns
Genótipos	7	5617835	**
Safras	2	184849510	**
Genótipos x Safras	14	9217878	**
Resíduo	46	3334373	

**Significativo a 5% pelo Teste F. ns - não significativo. GL – graus de liberdade. FV – fatores de variação.

Fonte: Autoria própria (2024).

Na safra 2021/22 os genótipos que apresentaram melhor desempenho produtivo foram as cultivares de GMR 4.8 e 5.2 e, também, a Linhagem 1. Os demais genótipos, a cultivar de GMR 5.0 e as Linhagens 2, 3, 4 e 5, tiveram desempenho inferior, sem diferir entre si (Tabela 4).

Tabela 4 - Dados médios de produtividade de grãos em função da interação entre genótipos de soja e safras de cultivo.

Genótipos de soja	Produtividade de grãos (Kg ha ⁻¹)		
	Safras		
	2021/22	2022/23	2023/24
Cultivar 1 RR® (GMR 4.8)	2301,3 Ca	5461,3 Ab	4630,7 Ba
Cultivar 2 IPRO® (GMR 5.0)	2003,0 Cb	5717,3 Ab	4646,0 Ba
Cultivar 3 IPRO® (GMR 5.2)	2505,3 Ca	5565,7 Ab	3475,7 Bc
Linhagem 1 RR®	2082,0 Ca	6738,3 Aa	5008,0 Ba
Linhagem 2 RR®	1668,7 Cb	6510,7 Aa	4603,7 Ba
Linhagem 3 RR®	1673,7 Cb	4836,7 Ac	4309,7 Bb
Linhagem 4 RR®	1697,7 Cb	6392,0 Aa	4273,0 Bb
Linhagem 5 RR®	1841,3 Cb	5622,3 Ab	4277,0 Bb
Média	1971,6	5855,5	4403,0
CV (%)		6,60	

*Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria própria (2024).

Em 2022/23 os genótipos que apresentaram maior produtividade foram as Linhagens 1, 2 e 4. Com desempenho intermediário, e sem diferença entre si, ficaram as três cultivares comerciais e a Linhagem 5. Já o menor desempenho produtivo foi observado na Linhagem 3 (Tabela 4).

Na última safra de avaliação, em 2023/24, os genótipos mais produtivos foram as cultivares de GMR 4.8 e 5.0, juntamente com as Linhagens 1 e 2. Com desempenho intermediário ficaram as Linhagens 3, 4 e 5. O menor desempenho ocorreu com a cultivar de GMR 5.2 (Tabela 4).

As respostas diferenciais de alguns genótipos nas diferentes safras estão relacionadas à interação genótipo e ambiente. Isso foi constatado por Silva et al. (2016), ao testarem onze cultivares de soja em nove locais dos estados de Maranhão, Piauí e Tocantins, em duas safras.

Alterações dos ambientes de cultivo, sejam safras ou locais, podem provocar algumas mudanças morfológicas e de ciclo da soja, que poderão influenciar na produtividade de grãos, bem como na adaptabilidade e estabilidade das cultivares, como constatado por Yokomizo et al. (2022), em um estudo realizado no Amapá.

Essas alterações morfológicas em função do ambiente de produção incluem o sistema radicular da soja. Fried; Narayanan; Fallen (2019), ao avaliarem o desempenho produtivo de cultivares de soja nos Estados Unidos, sob diferentes regimes hídricos, verificaram que os genótipos com alta produtividade também apresentaram modificações adaptativas no seu sistema radicular em virtude das variações de ambiente.

No comparativo entre as três safras de condução do estudo, analisando-se cada genótipo individualmente, verificou-se que todos tiveram desempenho superior na safra 2022/23, seguida da safra 2023/24 e, com menor desempenho, os resultados observados na safra 2021/22 (Tabela 4).

Essa variação no desempenho dos genótipos nas diferentes safras está relacionada às condições meteorológicas Prauchner et al. (2024), especialmente disponibilidade hídrica e variações de temperatura durante o ciclo da soja (Figura 1).

Segundo Ogunkanmi; MacCarthy; Adiku (2022), estes fatores podem aumentar a evapotranspiração e reduzir a fotossíntese, provocando a perda de produtividade da soja.

Na safra de 2021/22 verificou-se longo período de déficit hídrico e ampla faixa de temperaturas durante o ciclo da soja (Figura 1), comprometendo significativamente

a produtividade dos genótipos. Conforme o estudo de Fernandes; De Melo; Battisti (2022), ao avaliarem o efeito do déficit hídrico na soja, mediante tratamentos com e sem irrigação, foi verificado que esse estresse reduz a fotossíntese das plantas e compromete a produtividade da cultura.

Segundo Rêbilas et al. (2020), fatores como precipitação pluvial reduzida podem afetar a ontogenia da soja, sendo que cultivares de menor ciclo são mais afetadas por condições estressantes como esta, influenciando diretamente na produtividade de grãos.

No estado do Paraná a produtividade média da soja na safra 2021/22 foi de apenas 2.161 Kg ha⁻¹. Já a média nacional foi de 3.029 Kg ha⁻¹ (CONAB, 2022). Comparando-se os resultados de produtividade da Tabela 4 na mesma safra, verificou-se que o município de Dois Vizinhos foi severamente impactado pelo longo período de déficit hídrico, em que a média produtiva do estudo foi de apenas 1.971,6 Kg ha⁻¹.

Em contrapartida, na safra 2022/23 a produtividade média do estudo foi de 5.855,5 Kg ha⁻¹, muito acima da média paranaense e nacional, de 3.862 Kg ha⁻¹ e 3.508 Kg ha⁻¹, respectivamente. Na safra 2023/24 também se observou média produtiva do estudo superior, com 4.403,0 Kg ha⁻¹; enquanto no Paraná esta foi de 3.800 Kg ha⁻¹ e, no Brasil, 3.586 Kg ha⁻¹, respectivamente (CONAB, 2024)

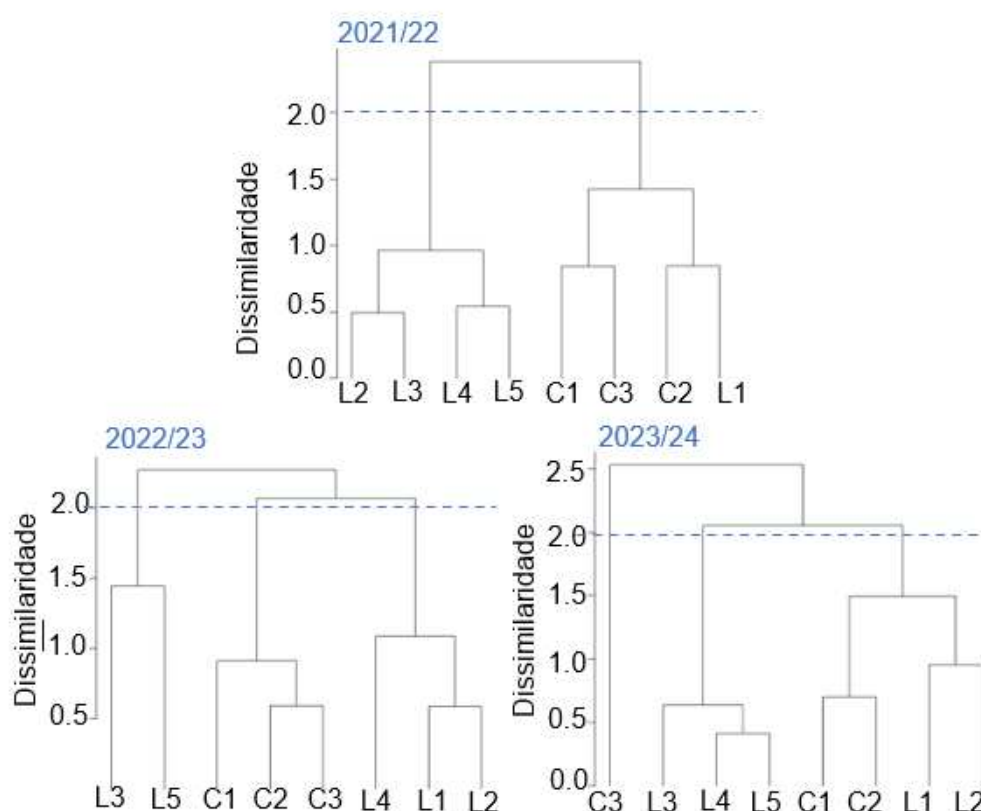
Considerando-se a ocorrência dos fenômenos climáticos *La Niña* e *El Niño*, de acordo com Luiz; Da Silva (2024) o primeiro se manifestou de 2020 a 2022. No entanto, na região do estudo e de acordo com a Figura 1, as consequências negativas do *La Niña* só foram percebidas na primeira safra, 2021/22. Na safra subsequente, apesar de sua ocorrência, as condições de precipitação e temperatura foram adequadas para a cultura da soja (Figura 1), expressando esta alta produtividade (Tabela 4).

Na safra 2023/24, em que houve a ocorrência do *El Niño*, que para a região sul do Brasil é caracterizado por ocorrência de chuvas acima da média, estas se apresentaram, porém, no mês de dezembro de 2023 houve um intervalo prolongado sem ocorrência de chuva e altas temperaturas (Figura 1), que contribuíram para que a produtividade do estudo ficasse aquém da registrada na safra anterior (Tabela 4).

Estes fenômenos climáticos de ocorrência mundial impactam diretamente o desempenho produtivo das culturas agrícolas, influenciando diretamente na economia e na produção de alimentos (LIMA; SCHAEFFER, 2023).

Os dendrogramas referentes ao agrupamento dos genótipos de soja quanto à similaridade produtiva, nas três safras do estudo, estão apresentados na Figura 2. É possível observar a formação de dois agrupamentos na safra 2021/22; nas safras 2022/23 e 2023/24 formaram três agrupamentos, a partir da linha de corte estabelecida.

Figura 2 - Dendrograma do agrupamento de genótipos de soja em função da produtividade de grãos das safras 2021/22, 2022/23 e 2023/4. C- Cultivar; L- Linhagem.



Fonte: Autoria própria (2024).

Na safra 2021/22, as três cultivares comerciais e a Linhagem 1 foram similares entre si, formando um agrupamento (Figura 2), que se destaca pelo maior desempenho produtivo (Tabela 4). As demais linhagens avaliadas formaram um segundo agrupamento, com menor desempenho, sem se diferirem.

Na safra 2022/23 verificou-se a formação de um agrupamento representado pelas Linhagens 1, 2 e 4, devido à sua similaridade produtividade. O segundo grupo foi representado pelas três cultivares comerciais e o terceiro grupo foi representado pelas Linhagens 3 e 5.

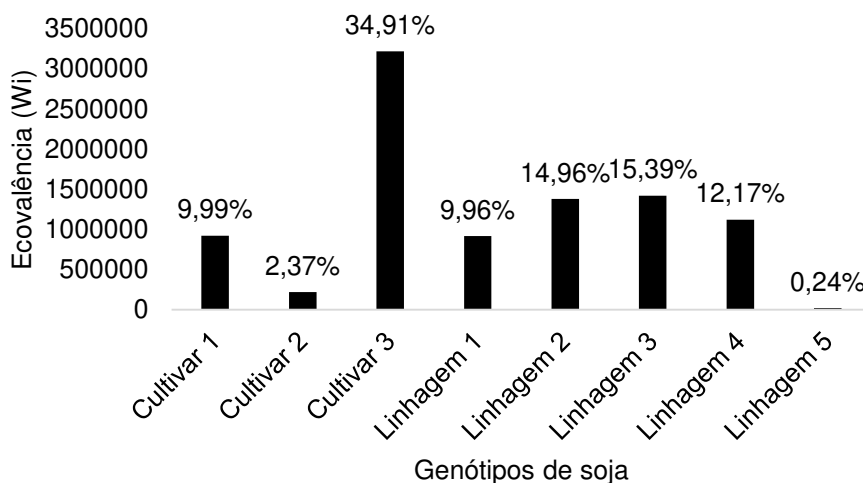
Em relação à safra 2023/24 entre os agrupamentos formados, a cultivar 3 apresentou uma dissimilaridade maior com todos os genótipos avaliados, pelo seu baixo desempenho produtivo. Um agrupamento foi formado pelas linhagens e cultivares 1 e 2. Outro agrupamento, intermediário, foi composto pelas demais linhagens avaliadas, 3, 4 e 5.

Os dendrogramas ajudam a identificar a divergência dos genótipos. Segundo Ferreira Júnior et al. (2015), ao realizar a caracterização agrônômica de 41 linhagens de soja, esta ferramenta permitiu observar as características em comum e divergentes entre os genótipos, oportunizando a análise de sua diversidade e os genótipos superiores, semelhante ao observado no presente estudo e corroborado por Leite et al. (2018).

Segundo Khan et al. (2014), metodologias que permitam o agrupamento por similaridade produtiva são importantes para a tomada de decisão na escolha dos genótipos com maior potencial de seleção.

Na Figura 3 constam os resultados de estabilidade produtiva, pelo método de Wricke (1965), dos oito genótipos testados em três safras consecutivas. De acordo com o método, quanto maior o valor de Ecovalência (W_i) menor a estabilidade do genótipo.

Figura 3 - Análise de estabilidade produtiva, pelo método de Wricke, para oito genótipos de soja em três safras.



Fonte: Autoria própria (2024).

O genótipo mais estável, de acordo com o método, foi a linhagem 5, seguida da cultivar 2, linhagem 1 e cultivar 1. Acima de 10% de W_i , em ordem crescente, estão as linhagens 4, 2, 3 e, com maior valor, a cultivar 3, menos estável.

Esses resultados indicam que algumas das linhagens analisadas se destacaram positivamente quanto à sua estabilidade produtiva nas três safras de avaliação. Quanto às linhagens mais instáveis é necessária uma avaliação criteriosa, especialmente quanto ao seu desempenho produtivo, visto que uma das três cultivares utilizadas no estudo apresentou alta instabilidade e mesmo assim foi bastante cultivada pelos produtores rurais na região do estudo.

Ao avaliar o desempenho de seis cultivares de soja em doze ambientes de cultivo nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil, Mendonça (2016) também observou diferença entre as cultivares quanto aos valores de Ecovalência, como observado no presente estudo. Segundo o autor, a cultivar mais estável teve valor de W_i de 4,60%.

Ressalta-se que o genótipo mais apropriado é aquele mais adaptado e estável e que, nem sempre, ambas as características irão se verificar em um mesmo material. Também, é preciso considerar que estabilidade não é reflexo de produtividade de grãos e sim indica a previsibilidade de um genótipo em condições distintas de ambiente de produção, sejam safras e / ou locais distintos.

Esse aspecto foi observado por Yokomizo et al. (2022), ao avaliarem sete cultivares de soja no Amapá em diferentes safras. Os autores verificaram que as cultivares mais produtivas não foram as mais estáveis, segundo a metodologia proposta por Wricke (1965); as duas cultivares mais produtivas tiveram valores de Ecovalência de 15,60% e 20,77%, enquanto as cultivares mais estáveis, porém menos produtivas em relação a estas duas, tiveram valores de W_i entre 2,35% e 5,55%.

Visando classificar e identificar os ambientes considerados favoráveis e desfavoráveis para a produtividade de soja realizou-se a análise dos dados de produtividade dos genótipos de soja pelo método de Annicchiarico (1995).

De acordo com este método, o cálculo do índice ambiental é definido a partir da média produtiva dos genótipos em um ambiente específico em relação à média produtiva dos genótipos em todos os ambientes avaliados, neste caso, as três safras em conjunto. Se o valor do índice for negativo, considera-se o ambiente desfavorável; se positivo, favorável (ANNICCHIARICO, 1992), sendo o valor absoluto relevante para identificar o quão desfavorável ou favorável o é.

No presente estudo a safra 2021/22 foi desfavorável à produtividade da soja. As safras subsequentes foram consideradas favoráveis, visto que o valor médio obtido pelos genótipos de soja em cada uma foi superior à média produtiva das três safras

em conjunto (Tabela 5). Pelo valor do índice foi possível inferir que a safra 2022/23 foi a mais favorável ao desempenho produtivo da soja (Tabela 5).

Tabela 5 - Classificação das para a avaliação de desempenho de oito genótipos de soja, pelo método de Annicchiarico.

Safra	Média produtiva (Kg ha ⁻¹)	Índice Ambiental	Classe
2021/22	1971,7	-2105,0	Desfavorável
2022/23	5855,5	1778,8	Favorável
2023/24	4403,0	326,3	Favorável
Média	4076,7	0,0	-

Fonte: Autoria própria (2024).

De acordo com Elias et al. (2005), o método proposto por Annicchiarico (1992) é oportuno para a seleção de determinado (s) genótipo (s) a ser disponibilizado aos agricultores, por levar em consideração o risco deste genótipo apresentar desempenho inferior a uma cultivar controle, normalmente uma referência de exploração comercial na região de cultivo. Nesse caso, adota-se a média geral dos genótipos avaliados, considerando-se linhagens e cultivares controle.

A linhagem 1 foi o genótipo que apresentou a maior produtividade média, na média das três safras de estudo, observando-se, também, o maior valor de W_i ; logo, com maior índice de confiança ou de recomendação para cultivo (Tabela 6).

Tabela 6 - Desempenho e estabilidade de oito genótipos de soja avaliados em três safras pelo método de Annicchiarico.

Análise de todos os ambientes					
Genótipos	Média	%	Desvio	W_i (%)	Ranking
Cultivar 1 RR® (GMR 4.8)	4131,0	105,0	11,73	85,8	4
Cultivar 2 IPRO® (GMR 5.0)	4122,3	101,6	3,94	95,1	2
Cultivar 3 IPRO® (GMR 5.2)	3848,8	100,3	24,49	60,1	8
Linhagem 1 RR®	4609,6	111,5	5,12	103,1	1
Linhagem 2 RR®	4261,0	100,1	13,83	77,4	6
Linhagem 3 RR®	3606,8	88,5	8,24	74,9	7
Linhagem 4 RR®	4121,0	97,4	11,54	78,5	5
Linhagem 5 RR®	3913,5	95,5	1,93	92,3	3
Análise de ambientes favoráveis					
Genótipos	Média	%	Desvio	W_i (%)	Ranking
Cultivar 1 RR® (GMR 4.8)	5045,8	99,2	8,41	85,4	6
Cultivar 2 IPRO® (GMR 5.0)	5181,7	101,6	5,57	92,4	4
Cultivar 3 IPRO® (GMR 5.2)	4520,7	87,0	11,39	68,3	8
Linhagem 1 RR®	5873,2	114,4	0,94	112,9	1
Linhagem 2 RR®	5557,3	107,9	4,69	100,2	2
Linhagem 3 RR®	4573,2	90,2	10,81	72,5	7
Linhagem 4 RR®	5332,6	103,1	8,56	89,0	5
Linhagem 5 RR®	4949,6	96,6	0,80	95,3	3

1-Alfa = 0,95 Z = 1,645

Análise dos ambientes desfavoráveis sem desdobramentos pois só há um ambiente (Safra 2021/22).

Fonte: Autoria própria (2024).

As demais médias produtivas superiores foram observadas na linhagem 2, seguida das cultivares 1, 2 e da linhagem 4. Os outros genótipos tiveram produtividades menores que 4 mil Kg ha⁻¹, com o menor resultado sendo observado na linhagem 3.

Em um estudo realizado por Soares; Alvares; Simon (2019), visando avaliar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais, por duas safras, verificou-se que a metodologia proposta por Annichiarico (1992) proporcionou resultados interessantes na seleção dos melhores genótipos.

Quanto ao índice de confiança, na sequência da linhagem 1, se destacaram a cultivar 2 e linhagem 5. Os demais genótipos tiveram valores de Wi menor que 90%, com menor índice de confiança verificado na cultivar 3.

Considerando-se a média produtiva dos genótipos apenas nos ambientes favoráveis (Tabela 6), novamente a linhagem 1 se destacou positivamente com o maior valor, seguida das linhagens 2 e 4; na sequência, as cultivares 2 e 1. Os demais genótipos produziram menos que 5 mil Kg ha⁻¹, sendo observado o menor desempenho na linhagem 3 (Tabela 6).

Quanto ao índice de confiança genotípico, o maior valor também foi observado na linhagem 1, seguido das linhagens 2 e 5 e a cultivar 2. O menor valor de Wi ocorreu na cultivar 3.

Semelhante ao observado para a linhagem 1 quanto à sua média produtiva superior e o maior valor do índice de confiança, tanto ao se considerar todos os ambientes como apenas os ambientes favoráveis (Tabela 6), De Vasconcelos et al. (2015) verificaram no Estado de Minas Gerais que as cultivares mais estáveis também foram as mais produtivas, corroborando com pesquisa realizada por Li et al. (2020) e Capone et al. (2018).

4.1.2 Estudo 1.2 – Desempenho produtivo de linhagens de soja em diferentes locais

A análise de variância mostrou que houve interação entre os fatores genótipos de soja e locais de semeadura para a variável resposta produtividade de grãos, na safra 2023/24 (Tabela 7).

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para a produtividade de grãos de genótipos de soja em dois locais de cultivo na safra 2023/24.

FV	GL	Quadrado médio	
Blocos	2	235110	ns
Genótipos	7	3444483	**
Localidade	1	4981341	**
Genótipos x Localidade	7	2852277	**
Resíduo	30	2328132	

**Significativo a 5%, pelo Teste F. ns- não significativo. GL – graus de liberdade. FV – fatores de variação.

Fonte: Autoria própria (2024).

Na área de menor fertilidade, os dois genótipos que se destacaram positivamente quanto ao desempenho produtivo foram a cultivar de GMR 5.0 e a Linhagem 4. Os demais genótipos avaliados, que tiveram desempenho inferior, não diferiram entre si (Tabela 8).

Tabela 8 - Dados médios de produtividade de grãos em função da interação entre genótipos de soja e locais de cultivo na safra 2023/24.

Genótipos de soja	Produtividade de grãos (Kg ha ⁻¹)	
	Local de cultivo	
	Menor fertilidade	Maior fertilidade
Cultivar 1 RR® (GMR 4.8)	3665,7 Bb	4630,7 Aa
Cultivar 2 IPRO® (GMR 5.0)	4220,3 Aa	4646,0 Aa
Cultivar 3 IPRO® (GMR 5.2)	3546,3 Ab	3475,0 Ac
Linhagem 1 RR®	3700,3 Bb	5008,0 Aa
Linhagem 2 RR®	3262,3 Bb	4603,7 Aa
Linhagem 3 RR®	3679,3 Bb	4309,7 Ab
Linhagem 4 RR®	4144,7 Aa	4273,0 Ab
Linhagem 5 RR®	3850,3 Ab	4277,0 Ab
Média	3758,7	4402,9
CV (%)	6,83	

*Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria própria (2024).

Na área de maior fertilidade, destaque para a produtividade superior das cultivares comerciais de GMR 4.8 e 5.0, bem como das linhagens 1 e 2. Com produtividades intermediárias, não diferindo entre si, ficaram as linhagens 3, 4 e 5. A menor produtividade ocorreu com a cultivar de GMR 5.2 (Tabela 8).

Ao avaliar o desempenho de genótipos de soja e a eficiência de extração de potássio sob duas concentrações do nutriente no solo, 20 mg de K dm⁻³ (baixo) e 200 mg de K dm⁻³ (alto), Gomides et al. (2023) verificaram respostas variáveis entre os genótipos. Alguns apresentaram maior eficiência de extração de K, podendo ser indicados para solos com menores concentrações deste nutriente, enquanto outros genótipos mostraram-se responsivos à adubação potássica, sendo indicados para

áreas mais férteis. Resultados semelhantes foram observados por Moreira; Moraes; Moretti (2017) e Ardon et al. (2022), ao considerar o nutriente fósforo.

A eficiência de absorção de nutrientes dos genótipos de soja se deve às características intrínsecas de cada um, mas também do ambiente de produção. Segundo Bello (2021), que estudou os mecanismos genéticos e metabólicos que regulam a eficiência de absorção do fósforo na soja, os principais fatores que provocam a deficiência de assimilação das plantas são o desenvolvimento e arquitetura da raiz, a simbiose com microrganismos e, particularmente, a limitação de fósforo no solo, demonstrando um claro exemplo da interação genótipo e ambiente.

Ao se comparar os locais para cada genótipo, verificou-se as cultivares de GMR 5.0 e 5.2 e as linhagens 4 e 5 não tiveram variação de produtividade em função da área de cultivo. Para os demais genótipos, a área de maior fertilidade condicionou maior desempenho produtivo em comparação à área de menor produtividade (Tabela 8), indicando resposta diferencial entre os genótipos quanto à química do solo.

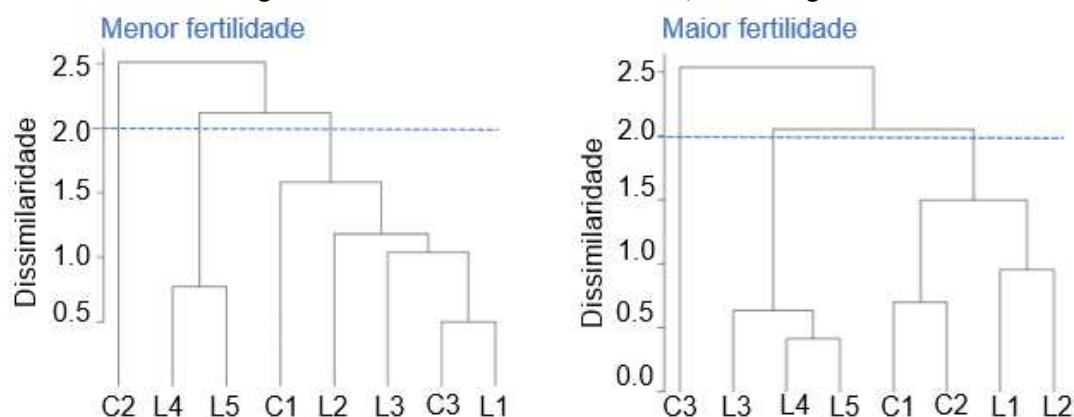
As médias produtivas observadas para ambas as áreas foram elevadas (Tabela 8), a considerar a média do Paraná e do Brasil para essa safra, com valores de 3.800 Kg ha⁻¹ e 3.586 Kg ha⁻¹, respectivamente, segundo a Conab (2024). Indicando o potencial da região sudoeste do estado para se obter altas produtividades de soja, desde que os fatores estressantes não sejam extremos, como os verificados na safra 2021/22 (Figura 1).

Os dendrogramas com o agrupamento dos genótipos nos diferentes locais de cultivo estão apresentados na Figura 4. Observou-se a formação de três agrupamentos em cada ambiente de cultivo.

Na área de menor fertilidade formou-se um agrupamento com as linhagens 1, 2 e 3 e as cultivares 1 e 3. Um agrupamento intermediário entre as linhagens 4 e 5 e, em separado, a cultivar 2.

Na área de maior fertilidade um agrupamento foi representado pelas linhagens e cultivares 1 e 2. Em posição intermediária, o segundo agrupamento teve as linhagens 3, 4 e 5 como similares e, de forma isolada a cultivar 3.

Figura 4 - Dendrograma do agrupamento de genótipos de soja em função da produtividade de grãos das localidades. C- Cultivar; L- Linhagem.



Fonte: Autoria própria (2024).

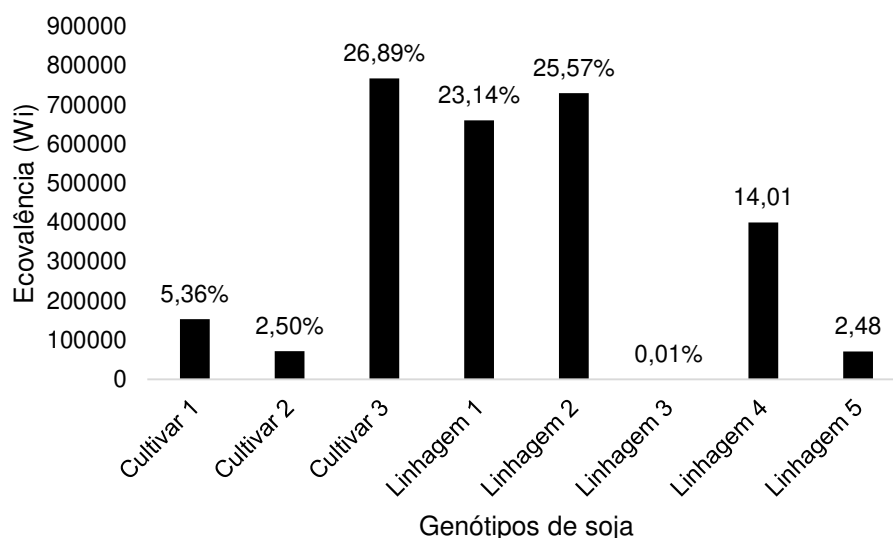
Essa variabilidade na composição dos agrupamentos em função de condições edáficas pode estar relacionada às respostas de cada genótipo aos ambientes de produção contrastantes, como observado por Tavares de Albuquerque et al. (2022), ao avaliarem vinte e um genótipos de soja buscando agrupá-los quanto às respostas em desempenho produtivo em locais contrastantes para o teor de matéria orgânica do solo.

As diferentes respostas de cada material genético se devem à interação genótipo e ambiente, em que esta relação interfere diretamente na variação fenotípica dos genótipos avaliados (KRAUSE et al., 2022).

Judijanto et al. (2024) constataram complexa interação entre fatores edafoclimáticos no desempenho produtivo da soja. Ao expor gerações segregantes iniciais em diferentes condições, esta estratégia pode viabilizar a seleção de genótipos mais adaptados e estáveis (KUSWANTORO, 2017).

Os genótipos com maior estabilidade produtiva, cultivados em dois ambientes contrastantes quanto à química do solo, de acordo com a metodologia proposta por Wricke (1965), foram a linhagem 3, seguida da linhagem 5 e das cultivares 2 e 1. Com menor estabilidade fenotípica, destaque para a cultivar 3, seguida da linhagem 2 e 1 (Figura 5).

Figura 5 - Análise de estabilidade produtiva, pelo método de Wricke, para oito genótipos de soja cultivados em dois locais contrastantes para a química do solo.



Fonte: Autoria própria (2024).

Em um estudo realizado por De Moura Rocha et al. (2009), em que avaliaram trinta e oito linhagens de soja em ambientes contrastantes para pH do solo, 6,0; 5,4 e 4,3, verificou-se que os genótipos mais estáveis, pelo método de Wricke (1965), demonstraram menor interação com o ambiente, indicando que estes genótipos poderiam ser recomendados para solos mais ácidos.

A partir da metodologia proposta por Annicchiarico (1995) foi possível classificar os dois ambientes de produção da safra 2023/24. O local de menor fertilidade foi considerado desfavorável para o desempenho produtivo da soja; já o local de maior fertilidade foi classificado com favorável (Tabela 9).

Tabela 9 - Classificação das para a avaliação de desempenho de oito genótipos de soja, pelo método de Annicchiarico.

Local	Média produtiva (Kg ha ⁻¹)	Índice Ambiental	Classe
Menor fertilidade	3758,6	-322,19	Desfavorável
Maior fertilidade	4403,0	322,19	Favorável
Média	4080,8		-

Fonte: Autoria própria (2024).

A classificação quanto aos ambientes indica que a composição química do solo exerce relevante influência na resposta de desempenho produtivo da soja. O local de menor fertilidade foi considerado desfavorável para o desempenho produtivo da soja; já o local de maior fertilidade foi classificado com favorável (Tabela 9).

Adie; Krisnawati (2016), ao testarem treze genótipos de soja quanto à sua adaptabilidade e estabilidade em solos contrastantes para pH (5,87; 5,04 e 4,73), constataram que apenas um deles se mostrou adaptado ao solo mais ácido, indicando a complexidade de seleção de cultivares de soja para solos com sua composição química inadequada para exploração agrícola.

A cultivar 2 foi a que obteve a maior média produtiva na média dos dois locais de cultivo, seguida das linhagens 1 e 4, da cultivar 1 e da linhagem 5. Os demais genótipos obtiveram produtividades abaixo de 4 mil kg ha⁻¹, com menor desempenho sendo verificado na cultivar 3 (Tabela 10).

Tabela 10 - Desempenho e estabilidade de oito genótipos de soja avaliados em três safras pelo método de Annicchiarico.

Análise de todos os ambientes					
Genótipos	Média	%	Desvio	Wi (%)	Ranking
Cultivar 1 RR® (GMR 4.8)	4148,0	101,35	5,39	92,5	4
Cultivar 2 IPRO® (GMR 5.0)	4433,0	108,90	4,78	101,0	1
Cultivar 3 IPRO® (GMR 5.2)	3511,5	86,66	10,91	68,7	8
Linhagem 1 RR®	4354,0	106,09	10,82	88,3	5
Linhagem 2 RR®	3933,0	95,68	12,57	75,0	7
Linhagem 3 RR®	3994,5	97,88	0,004	97,9	2
Linhagem 4 RR®	4209,0	103,66	9,36	88,2	6
Linhagem 5 RR®	4063,5	99,78	3,74	93,6	3

1-Alfa = 0,95 Z = 1,645

Fonte: Autoria própria (2024).

Quanto ao índice de confiança (Wi), a cultivar 2 foi superior, seguida das linhagens 3, 5 e da cultivar 1. Os demais genótipos tiveram índice menor que 90%, com menor percentagem sendo observado na cultivar 3.

No estudo de Teixeira Júnior et al. (2015) foi avaliada a adaptabilidade e estabilidade de diferentes genótipos de soja em solos degradados dos municípios de Gurupi e Palmas, pelos métodos de Wricke e Annicchiarico. Os autores constataram que a combinação dos métodos foi importante para a seleção de genótipos em ambientes contrastantes, sendo corroborado por Soares et al. (2017) e Hamawaki et al. (2018).

4.2 Estudo 2 - hibridação artificial de soja e avanço de segregantes

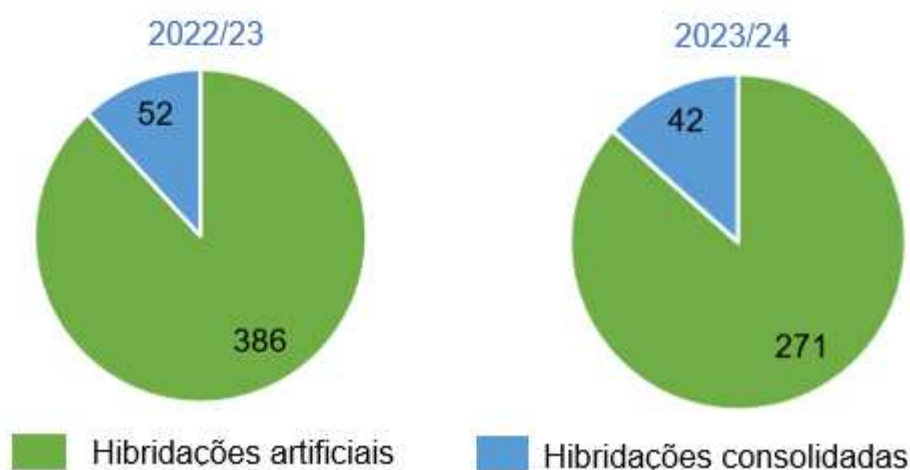
4.2.1 Estudo 2.1 - Safra 2022/23 e Estudo 2.2 – Safra 2023/24

A realização de hibridação artificial é uma etapa fundamental para se ampliar a variabilidade genética do banco de germoplasma que o programa de melhoramento possui.

Dessa forma, novas linhagens segregantes são obtidas e podem ser selecionadas ao longo dos diferentes ciclos, até se chegar em uma linhagem homozigota que atenda os objetivos previamente definidos no projeto.

No Estudo 2.1, Safra 2022/23, foram realizadas 386 hibridações artificiais a partir do germoplasma apresentado na Tabela 1. Destas, 52 se consolidaram, mediante a produção de vagens com sementes, ou seja, uma percentagem de efetivação de 13,5%.

Figura 6 - Total de hibridações artificiais realizadas nas safras 2022/23 e 2023/24 e percentagem de hibridações consolidadas.



Fonte: Autoria própria (2024).

No Estudo 2.2., Safra 2023/24, 271 hibridações foram realizadas, com uma percentagem de efetivação de 15,5%.

Estes valores são considerados muito baixos, visto que algumas empresas relataram percentagens de hibridações efetivadas na ordem de 85% (informação pessoal).

Algumas situações práticas ajudam a explicar as possíveis razões quanto aos resultados obtidos. O principal fator prejudicial é a amplitude térmica verificada na casa de vegetação (dados não apresentados). Esta estrutura não conta com sistema de controle automático de temperatura, ventilação e nem de irrigação.

A forma de minimizar as altas temperaturas evidenciadas nesse ambiente é apenas mediante a abertura das laterais da casa de vegetação e o fechamento superior com a manta de sombreamento.

No verão, mesmo com essas estratégias, aliadas à irrigação abundante, todos os esforços não foram suficientes. Há o contraponto do sombreamento provocado pelo sombreamento da manta, na ordem de 50%, que reduz a atividade fotossintética das plantas levando, da mesma forma, ao aborto maior de estruturas florais.

Outro aspecto é a experiência de quem faz as hibridações. Como este é um projeto que alguns discentes participam, e sempre há rotação destes, mesmo com treinamento não são todos que possuem as habilidades necessárias e a prática para buscar maior assertividade, corroborando com Shivakumar; Gireesh; Talukdar et al. (2016).

De acordo com Dalmagro et al. (2019), as condições apropriadas na casa de vegetação para se obter em torno de 60% de fixação de vagens provenientes de hibridação artificial de flores de soja são temperaturas entre 35°C e 40°C e umidade relativa do ar de entre 65% e 70%. Ainda segundo o autor, temperaturas superiores à 45°C ocasionam maior abortamento de vagens.

Esses valores de temperatura divergem dos observados por Hanafiah et al. (2023). Para os autores, em que se obteve taxa de sucesso de hibridações consolidadas em torno de 57,14%, a faixa de temperatura adequada para as hibridações foi em torno de 24 a 28°C, indicando que nesta condição a viabilidade dos grãos de pólen é favorecida.

A capacidade combinatória entre os genótipos selecionados para as hibridações é outra característica importante para aumentar a percentagem de hibridações consolidadas. Nem todos os genótipos apresentam alta capacidade combinatória, o que pode aumentar as taxas de aborto verificadas.

Bagateli et al. (2020) estimaram a capacidade combinatória geral de genótipos de soja com base em características agrônômicas de interesse e verificaram que o sucesso das hibridações depende da interação dos genitores e a capacidade combinatória específica. Ainda segundo os autores, o pesquisador deve ter conhecimento das características dominantes desejadas dos genitores para que sejam expressados para os descendentes.

No estudo de Rialch; Dev; Kumar (2017) se analisou a capacidade de combinação em 54 hibridações de 18 linhagens e 3 cultivares de soja, verificando-se

que a capacidade combinatória específica reflete em características superiores quando existe interação genética benéfica entre os parentais.

De qualquer forma, com base nos resultados verificados no Estudo 1, mesmo com todos os desafios relacionados à eficiência das hibridações, foi possível chegar em determinadas linhagens com produtividade compatível às principais cultivares comerciais utilizadas pelos produtores rurais da região (Tabelas 1 e 2), considerando-se os GMRs indicados.

Estas hibridações efetivadas em ambos os Estudos (2022/23 e 2023/24) encontram-se nas etapas de avanço de geração em campo, para se obter populações maiores e ampliar as chances de linhagens de interesse comercial, a partir da realização de seleção em safras subsequentes.

5 CONCLUSÃO

A Linhagem 1 do programa de melhoramento genético de soja da UTFPR/DV se destacou quanto à sua produtividade média nas três safras conduzidas no mesmo local, apresentando alto índice de confiança genotípico.

A Linhagem 4, na área de menor fertilidade, e as Linhagens 1 e 2, na área de maior fertilidade, se destacaram quanto à sua produtividade média, com valores semelhantes ou até melhores que as cultivares controle, na safra 2023/24.

A safra 2021/22 e a área de menor fertilidade na safra 2023/24 foram consideradas como ambientes desfavoráveis para a cultura da soja, a primeira devido ao longo período de déficit hídrico e a segunda em função da química do solo.

A percentagem de hibridações consolidadas foi considerada baixa, devido às condições não apropriadas da casa de vegetação quanto à amplitude térmica e umidade relativa do ar.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, L. J.; OTEGUI, M. E.; MAURO, G. D. On-farm soybean genetic progress and yield stability during the early 21st century: a case study of a commercial breeding program in Argentina and Brazil. *Field Crops Research*, v. 308, p. 109277, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109277>. Acesso em: 21 nov. 2024.
- ADIE, M. M.; KRISNAWATI, A. Identification of soybean genotypes adaptive and productive to acid soil agro-ecosystem. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, v. 17, n. 2, p. 565-570, 2016. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d170217>.
- ALBUQUERQUE, J. R. et al. Environmental variables in the G x E interaction in soybean in the semiarid. *Revista Ciência Agronômica*, v. 54, p. e20218211, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230019>. Acesso em: 21 nov. 2024.
- ALVARES, C. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, p. 711-728, 2014.
- AMABILE, R. F.; VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R. *Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado*. Brasília, Brasil: Proimpress, 2018. (Livro técnico (CPAC)).
- AMARAL, L. et al. Rede Neural Artificial para Discriminação e Classificação de Genótipos de Soja Tropical de Diferentes Grupos de Maturidade Relativa. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, p. 814046, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.814046>. Acesso em: 21 nov. 2024.
- ANDERSON, E. J. et al. Melhoramento de Soja [*Glycine max* (L.) Merr.]: histórico, melhoramento, produção e oportunidades futuras. *Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes*, v. 7, p. 431–516, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23400-3_12. Acesso em: 21 nov. 2024.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. *Journal of Genetics and Breeding*, v. 46, p. 269-278, 1992.
- ARDON, H. J. et al. Classificação de genótipos de soja quanto à eficiência e resposta ao uso de fósforo em solo arenoso do cerrado brasileiro. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 45, n. 3, p. 94-104, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/rca.27469>. Acesso em: 21 nov. 2024.
- BAGATELI, J. R. et al. Estimates of heterosis and combining ability of soybean diallel crossings. *Plant Omics*, v. 13, n. 1, p. 7-14, 2020. DOI: 10.21475/POJ.13.01.20.p2038.
- BAHRY, C. A. et al. Performance, adaptability and stability of soybean cultivars submitted to different environments conditions. *Journal of Agricultural Studies*, v.

8, n. 4, p. 330-349, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5296/jas.v8i4.17352>. Acesso em: 21 nov. 2024.

BATISTA, E. L.; RAMÍREZ, Y. V.; RODRÍGUEZ, F. C. Características fenológicas y productivas de cinco cultivares de soya en época lluviosa. *Centro Agrícola*, v. 45, n. 2, p. 34-39, 2018. Disponível em: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025357852018000200005&lng=es&tlng=es. Acesso em: 21 nov. 2024.

BATISTA, O. et al. Adaptability and stability of soybean genotypes in off-season cultivation. *GMR Genetics and Molecular Research*, v. 14, n. 3, p. 9633-9645, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4238/2015.August.14.26>. Acesso em: 21 nov. 2024.

BELLO, S. An overview of the morphological, genetic and metabolic mechanisms regulating phosphorus efficiency via root traits in soybean. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 21, n. 2, p. 1013-1029, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00418-y>. Acesso em: 30 nov. 2024.

BHERING, L. Rbio: a tool for biometric and statistical analysis using the R platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 17, n. 2, p. 187-190, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>. Acesso em: 21 nov. 2024.

BIANCHI, M. C. et al. Heritability and the genotype $\times$ environment interaction in soybean. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, v. 3, n. 1, p. e20020, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/agg2.20020>. Acesso em: 21 nov. 2024.

BOSQUILIA, R. W. et al. Análise multitemporal do uso e ocupação do solo do câmpus da UTFPR-DV utilizando imagens de satélite. In: XVII SIMPÓSIO INTERNACIONAL SELPER, novembro de 2016, Puerto Iguazú, Brasil. *Geotecnologias, ferramentas para a construção de uma nova visão do cambio global e sua transformação para um futuro sustentável. Anais [...]*. Puerto Iguazú: SELPER, 2016.

BRITO, D.; SILVA, G. D.; LEÃO, A. Estratégias de logística para o setor exportador de soja no Brasil. *RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar*, v. 4, n. 7, p. e473595, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.47820/recima21.v4i7.3595>. Acesso em: 21 nov. 2024.

BRUMATTI, L. M.; PIRES, G. F.; SANTOS, A. B. Challenges to the adaptation of double cropping agricultural systems in Brazil under changes in climate and land cover. *Atmosphere*, v. 11, n. 12, p. 1310, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/atmos11121310>. Acesso em: 21 nov. 2024.

CAMPOS, L. H. et al. Genetic progress of 18 years of a soybean breeding program for the Brazilian Central-West. *Revista Ciência Agronômica*, v. 54, p. e20217833, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230016>. Acesso em: 21 nov. 2024.

CAPONE, A. et al. Produtividade e qualidade de sementes de genótipos de soja para alimentação humana introduzidos em Tocantins, na entressafra. *Nucleus*, v. 15, n. 1, p. 71-84, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3738/1982.2278.2171>. Acesso em: 21 nov. 2024.

CARNEIRO, D. M.; DUARTE, S. L.; DA COSTA, S. A. Determinantes dos custos da produção de soja no Brasil. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 11-13 nov. 2015, Foz do Iguaçu, Paraná. *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3935>. Acesso em: 21 nov. 2024.

CAVALCANTE, A. K. et al. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de soja em Porto Alegre do Norte, MT / Phenotypic adaptability and stability in soybean genotypes in Porto Alegre do Norte, state of Mato Grosso. *Bioscience Journal (Online)*, v. 30, n. 4, p. 942-949, 2014. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/21819>. Acesso em: 21 nov. 2024.

CAVINATTO, J. A importância do GMR para o cultivo da soja. *Agrolink*, 3 set. 2022. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/a-importancia-do-gmr-para-o-cultivo-da-soja_469904.html. Acesso em: 16 out. 2024.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Companhia Nacional de Abastecimento, v. 9, n. 10, p. 1-88, jul. 2022.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2020/2021 a 2023/2024. Companhia Nacional de Abastecimento, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 24 set. 2024.

CONAB. Safra brasileira de grãos. Companhia Nacional de Abastecimento, jul. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 21 nov. 2024.

CRUZ, C. D. Genes Software - extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i4.32629>. Acesso em: 21 nov. 2024.

DA SILVA, A. O. Fenologia da soja aplicada no dia a dia. *Agroadvance*, 25 ago. 2023. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-fenologia-da-soja/>. Acesso em: 2 nov. 2024.

DALMAGRO, C. et al. Viabilidade de hibridações em soja em ambiente protegido e sem controle de temperatura e umidade. *Revista Cultivando o Saber*, p. 47-53, 2019. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/980>. Acesso em: 21 nov. 2024.

DE LIMA, F. et al. Safra 2024/25: estimativas e potenciais desafios. *AgroANALYSIS*, v. 44, n. 9, p. 17-19, 2024.

DE MOURA ROCHA, M.; VELLO, N. A.; CELIS DE ALMEIDA LOPES, Â.; CABRAL MAIA. Estabilidade e adaptabilidade produtiva em linhagens de soja de ciclo médio. *Revista Ceres*, v. 56, n. 6, p. 764-771, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3052/305226942010.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2024.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.; BALBINOT, A.; CONTE, O. Produção de Soja no Cerrado: desafios e perspectivas. *Embrapa*, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1128399/1/p.-93-118-de-SP-17-2020-online.pdf>. Acesso em: 29 out. 2024.

DÍAZ-SOLIS, S. H. et al. Selección participativa de cultivares de soja (*Glycine max* (L.)) en Los Palacios, Pinar del Río, Cuba. *Cultivos Tropicales*, v. 40, n. 4, 2019. Disponível em: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362019000400002&script=sci_arttext. Acesso em: 21 nov. 2024.

DOS PASSOS, A. M. et al. Avaliação de cultivares de soja de ciclo precoce em área de pastagem na região sudoeste da Amazônia. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, v. 10, n. 19, p. 361-367, dez. 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1002277/1/avaliacaodecultivaresPRECOCE.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2024.

DUKE, S. Perspectives on transgenic, herbicide-resistant crops in the United States almost 20 years after introduction. *Pest Management Science*, v. 71, n. 5, p. 652-657, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.3863>. Acesso em: 21 nov. 2024.

EGLI, D. B.; BRUENING, W. P. Potential of early-maturing soybean cultivars in late plantings. *Agronomy Journal*, v. 92, n. 3, p. 532-537, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2000.923532x>. Acesso em: 21 nov. 2024.

ELIAS, H. T. et al. Análise de estabilidade de genótipos de feijoeiro no Estado de Santa Catarina. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 27, n. 4, p. 623-628, 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026560009>. Acesso em: 30 nov. 2024.

EVANGELISTA, J. et al. Environmental stratification and genotype recommendation toward the soybean ideotype. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 21, n. 1, p. e359721111, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1984-70332021v21n1a11>. Acesso em: 21 nov. 2024.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. *Stages of soybean development*. Iowa: Cooperative Extension Service Agriculture and Home Economics Experiment Station, Iowa State University of Science and Technology, 1997. Disponível em: <https://dr.lib.iastate.edu/handle/20.500.12876/90239>. Acesso em: 21 nov. 2024.

FERNANDES, R.; DE MELO, D.; BATTISTI, E. E. Climate change impacts on rainfed and irrigated soybean yield in Brazil's new agricultural frontier. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 147, n. 1, p. 803-816, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03865-w>. Acesso em: 21 nov. 2024.

FERREIRA JÚNIOR, J. A. et al. Genetic diversity in advanced soybean strains derived from biparental, four-way and eight-way crosses. *Revista Ciência Agronômica*, v. 46, n. 2, p. 339-351, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150013>. Acesso em: 21 nov. 2024.

FERREIRA, B. G.; FREITAS, M. M.; MOREIRA, G. C. Custo operacional efetivo de produção de soja em sistema de plantio direto. *Revista iPecege*, v. 1, n. 1, p. 39-50, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.22167/r.ipecege.2015.1.39>. Acesso em: 21 nov. 2024.

FOLLMANN, D. et al. Relações lineares entre caracteres de soja safrinha. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 40, n. 1, p. 213-221, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/RCA16027>. Acesso em: 21 nov. 2024.

FRIED, H. G.; NARAYANAN, S.; FALLEN, B. Evaluation of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] genotypes for yield, water use efficiency, and root traits. *PloS One*, v. 14, n. 2, e0212700, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212700>. Acesso em: 30 nov. 2024.

GAO, F. et al. A within-season approach for detecting early growth stages in corn and soybean using high temporal and spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, v. 224, p. 111752, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111752>. Acesso em: 21 nov. 2024.

GESTEIRA, G. et al. Seleção fenotípica de cultivares de soja precoce para a região Sul de Minas Gerais. *Revista Agrogeoambiental*, v. 7, n. 3, p. 2316-1817, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v7n32015730>. Acesso em: 21 nov. 2024.

GOMIDES, J. F. et al. Identification of modern high-yield soybean genotypes for potassium-use efficiency in sandy soil of the Brazilian cerrado. *Agronomy*, v. 13, n. 10, p. 2639, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy13102639>. Acesso em: 30 nov. 2024.

HALISKI, D.; OLIVEIRA, R. D.; SANTOS, J. D. Revealed comparative advantage of soy exportation between the main exporters in Brazil. *Informe Gepec*, v. 24, n. 2, p. 54, 2020. Disponível em: <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A9%3A16389417/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A145664158&crl=c>. Acesso em: 21 nov. 2024.

HAMAWAKI, O. T. et al. Adaptability and stability of soybean genotypes in the states of Maranhão, Piauí, Tocantins and Bahia. *Genetics and Molecular Research*, v. 17, n. 1, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4238/gmr16039895>. Acesso em: 30 nov. 2024.

HANAFIAH, D. S. et al. Assembly of soybean genotypes developed through three-way cross. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, v. 55, n. 3, p. 940-950, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.3.28>. Acesso em: 30 nov. 2024.

HERNÁNDEZ, P. M. et al. Evaluación de genotipos de soja en el estado de Campeche. In: XXVI Reunión Científica Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco, 6-7 nov. 2014, Villahermosa, Tabasco, México.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção agrícola. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/40079-release-lspa-abril>. Acesso em: 14 maio 2024.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Boletins agroclimatológicos mensais – 2022, 2023 e 2024. Brasília, 2022-2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>. Acesso em: 30 nov. 2024.

JARECKI, W. Soybean response to seed inoculation or coating with *Bradyrhizobium japonicum* and foliar fertilization with molybdenum. *Plants*, v. 12, n. 13, p. 2431, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/>. Acesso em: 21 nov. 2024.

JIA, H. et al. Maturity group classification and maturity locus genotyping of early-maturing soybean varieties from high-latitude cold regions. *PLoS One*, v. 9, n. 4, p. e94139, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094139>. Acesso em: 21 nov. 2024.

JIANG, G. L. et al. Editorial: Soybean molecular breeding and genetics. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, p. 1157632, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1157632>. Acesso em: 21 nov. 2024.

JUDIJANTO, L. et al. The role of soil type and environmental conditions in increasing soybean production. *West Science Agro*, v. 2, n. 2, p. 56–62, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.58812/wsa.v2i02.943>. Acesso em: 21 nov. 2024.

KAVA, L. T. Épocas de semeadura de cultivares de soja com diferentes ciclos de maturação. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2017.

KHAN, M. et al. Variations in agronomic traits of soybean genotypes. *SAARC Journal of Agriculture*, v. 12, n. 2, p. 90-100, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3329/sja.v12i2.21921>. Acesso em: 30 nov. 2024.

KRAUSE, F. A. Melhoramento genético de soja: cruzamento artificial, seleção e avaliação de novas linhagens. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

KRAUSE, M. D. et al. Using soybean historical field trial data to study genotype by environment variation and identify mega-environments with the integration of genetic and non-genetic factors. *bioRxiv*, v. 4, n. 11, p. 487885, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1101/2022.04.11.487885>. Acesso em: 21 nov. 2024.

KUSWANTORO, H. Genetic variability and heritability of acid-adaptive soybean promising lines. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, v. 18, n. 17, p. 378-382, 2017.

LANGEWISCH, T. et al. The development and use of a molecular model for soybean maturity groups. *BMC Plant Biology*, v. 17, n. 91, p. 1-13, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1040-4>. Acesso em: 21 nov. 2024.

LEITE, W. D. et al. Identification of superior genotypes and soybean traits by multivariate analysis and selection index. *Revista Ciência Agronômica*, v. 49, n. 3, p. 491-500, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180056>. Acesso em: 21 nov. 2024.

LI, M. et al. Identification of traits contributing to high and stable yields in different soybean varieties across three Chinese latitudes. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, p. 1642, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01642>. Acesso em: 30 nov. 2024.

LIMA, D.; SCHAEFFER, N. Relação dos fenômenos El Niño, La Niña e Ano neutro na agricultura brasileira. *Boletim Agrônômico do Agro Extensão*, v. 1, n. 1, p. 2, 2023.

LUIZ, A. J.; SILVA, F. A. Efeito do El Niño Oscilação Sul na produtividade da soja em Planaltina, DF. *Agrometeoros*, v. 32, e027577, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v32.e027577>. Acesso em: 21 nov. 2024.

MACIEL, A. et al. Identifying land use change trajectories in Brazil's agricultural frontier. *Land*, v. 9, n. 12, p. 506, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land9120506>. Acesso em: 21 nov. 2024.

MAGALHÃES, P. et al. Desenvolvimento do milho segunda safra: fatores genético-fisiológicos, plataforma de conhecimento e práticas de manejo de cultivo e uso, visando sustentabilidade de produção e produtividade no binômio soja/milho. *Folhetos*, v. 258, p. 42, dez. 2020. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1128757>. Acesso em: 21 nov. 2024.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Descrições de cultivares de soja. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/protecao-de-cultivar/arquivos-antigos/descricoes-de-cultivares-de-soja-13-02-2019>. Acesso em: 30 nov. 2024.

MATSUO, É. et al. Efficiency of artificial hybridization in soybean during the summer depending on temperature and relative humidity. *Biosci. J. (Online)*, v. 31, n. 6, p. 1663-1670, 2015. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/26171/17378>. Acesso em: 21 nov. 2024.

MENDONÇA, D. M. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja RR nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

MENEZES, C. B. et al. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de sorgo em ambientes com e sem restrição hídrica. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 14, n. 1, p. 101-115, 2015.

MEZZALIRA, I. Ganho genético para produtividade de grãos de soja na região central do Brasil. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

MILIOLI, A. Ganho genético em caracteres agronômicos, fenológicos e bioquímicos de soja no Brasil. 2021. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021.

MUNDIM, F. D. Avaliação de genótipos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) quanto a estabilidade, adaptabilidade e qualidade fisiológica. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

OGUNKANMI, L.; MACCARTHY, D.; ADIKU, S. Impact of extreme temperature and soil water stress on the growth and yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agriculture*, v. 12, n. 1, p. 43, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture12010043>. Acesso em: 21 nov. 2024.

OLIVEIRA, G. D.; HECHT, S. B. Sacred groves, sacrifice zones and soy production: globalization, intensification and neo-nature in South America. In: *Soy, Globalization, and Environmental Politics in South America*. Routledge, 2017. v. 43, p. 1-35.

OMARI, R. et al. Enhanced soybean productivity by inoculation with indigenous *Bradyrhizobium* strains in agroecological conditions of Northeast Germany. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, p. 707080, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.707080>. Acesso em: 21 nov. 2024.

PICCININ, Y.; ROSSATO, M. Custo da produção agrícola: uma análise do cultivo da soja em uma propriedade rural de Júlio de Castilhos/RS. *Anais do Congresso Brasileiro de Custos - ABC*, Rio Grande do Sul, 2018.

PRANDO, A. M. et al. Coinoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* na safra 2018/2019 no Paraná. *Circular Técnica Embrapa*, n. 156, nov. 2019. Londrina, PR: Embrapa Soja.

PRAUCHNER, E. D. et al. Agronomic performance of soybean and its relation with the production environment. *Agronomy Science and Biotechnology*, v. 10, p. 1-13, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.33158/ASB.r211.v10.2024>. Acesso em: 30 nov. 2024.

RANI, R. et al. Analysis of genotype × environment interactions for agronomic traits of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) using association mapping. *Frontiers in Genetics*, v. 13, p. 1090994, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1090994>. Acesso em: 21 nov. 2024.

REBILAS, K. et al. A model for the yield losses estimation in an early soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivar depending on the cutting height at harvest. *Field Crops Research*, v. 254, p. 107846, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107846>. Acesso em: 30 nov. 2024.

RIALCH, I.; DEV, J.; KUMAR, B. Heterosis and combining ability studies for quality traits in soybean (*Glycine max* [L.] Merrill). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v. 6, n. 8, p. 3443-3451, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.413>. Acesso em: 21 nov. 2024.

RIMIERI, P. La diversidad genética y la variabilidad genética: dos conceptos diferentes asociados al germoplasma y al mejoramiento genético vegetal. *Journal of Basic and Applied Genetics*, v. 28, n. 2, p. 7-13, 2017.

SAHARA, D.; SUSILA, A.; TRIASTONO, J. Advantages of early-maturity soybean varieties as a farmer adaptation effort to climate change in Grobogan Regency. In: IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE. IOP Publishing, v. 1323, n. 1, p. 012006, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1323/1/012006>. Acesso em: 21 nov. 2024.

SALOMÃO, E. Consórcio milho-plantas de cobertura e viabilidade técnica da soja safrinha. 2017. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2676>. Acesso em: 21 nov. 2024.

SANTACHIARA, G.; BORRÁS, L.; ROTUNDO, J. Physiological processes leading to similar yield in contrasting soybean maturity groups. *Agronomy Journal*, v. 109, n. 1, p. 158-167, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2016.04.0198>. Acesso em: 21 nov. 2024.

SARANRAJ, P. et al. Diversity and evolution of *Bradyrhizobium* communities relating to soybean cultivation: a review. In: IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE. Makassar, Indonésia: IOP Publishing, 2021. v. 788, n. 1, p. 012208. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/788/1/012208>. Acesso em: 21 nov. 2024.

SAVALA, C.; WIREDU, A.; OKOTH, J.; KYEI-BOAHEN, S. Inoculant, nitrogen and phosphorus improves photosynthesis and water-use efficiency in soybean production. *The Journal of Agricultural Science*, v. 159, n. 5-6, p. 349-362, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0021859621000617>. Acesso em: 21 nov. 2024.

SHAW, E.; KAKUDA, Y.; RAJCAN, I. Effect of genotype, environment, and genotype × environment interaction on tocopherol accumulation in soybean seed.

Crop Breeding & Genetics, v. 56, n. 1, p. 40-50, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.02.0069>. Acesso em: 21 nov. 2024.

SHIVAKUMAR, M.; GIREEESH, C.; TALUKDAR, A. Efficiency and utility of pollination without emasculation (PWE) method in intra- and inter-specific hybridization in soybean. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, v. 76, n. 1, p. 98-100, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5958/0975-6906.2016.00013.4>. Acesso em: 30 nov. 2024.

SILVA, K. et al. Adaptability and stability of soybean cultivars for grain yield and seed quality. *Genetics and Molecular Research*, v. 16, n. 2, p. 1-15, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16029646>. Acesso em: 21 nov. 2024. SILVA, W. J. et al. Desempenho produtivo de cultivares de soja no Maranhão, Piauí e Tocantins. In: II JORNADA CIENTÍFICA EMBRAPA MEIO-NORTE, 2016, Teresina, PI. *Anais [...]*. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2016.

SOARES, I. O. et al. Stability and adaptability of soybean cultivars in Minas Gerais. *Genetics and Molecular Research*, v. 16, n. 3, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16039730>. Acesso em: 30 nov. 2024.

SOARES, S. L.; ALVARES, R. C.; SIMON, G. A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja nos Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. In: CONGRESSO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UNIVERSIDADE DE RIO VERDE, 2019, Rio Verde. *Anais [...]*. Rio Verde: Universidade de Rio Verde, 2019.

STANIAK, M.; KROK, E.; KOCIRA, A. Responses of soybean to selected abiotic stresses—Photoperiod, temperature and water. *Agriculture*, v. 13, n. 1, p. 146, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture13010146>. Acesso em: 21 nov. 2024.

SUHRE, J. J. et al. Soybean yield partitioning changes revealed by genetic gain and seeding rate interactions. *Agronomy Journal*, v. 106, n. 5, p. 1631-1642, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0003>. Acesso em: 21 nov. 2024.

TAVARES DE ALBUQUERQUE, J. R. et al. Influencia de la interacción genotípica por ambientes en la divergencia genética de la soja (*Glycine max* L.) en condiciones semiáridas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, v. 54, n. 1, p. 1-12, 2022. Disponível em: https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652022000100001&script=sci_arttext&lng=en. Acesso em: 21 nov. 2024.

TEIXEIRA JÚNIOR, T. et al. Correlation among adaptability and stability methodologies for soybean genotypes in regions of degraded areas. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 9, n. 1, p. 35-41, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v9i1.2145>. Acesso em: 30 nov. 2024.

TEJO, D.; FERNANDES, C.; BURATTO, J. Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia da*

FAEF, v. 35, n. 1, p. 1-9, 2019. Disponível em: https://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/hw9EU5Lusw7rZZH_2019-6-19-14-11-1.pdf. Acesso em: 21 nov. 2024.

TODESCHINI, M. H. et al. Soybean genetic progress in South Brazil: physiological, phenological and agronomic traits. *Euphytica*, v. 215, n. 124, p. 1-12, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2439-9>. Acesso em: 21 nov. 2024.

TORRES, F. E. et al. Desempenho agrônômico e dissimilaridade genética entre genótipos de soja. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 38, n. 1, p. 111-117, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/rca.16876>. Acesso em: 21 nov. 2024.

VAN ESSE, P.; REUBER, T.; DOES, D. V. Genetic modification to improve disease resistance in crops. *New Phytologist*, v. 225, n. 1, p. 70-86, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.15967>. Acesso em: 21 nov. 2024.

VASCONCELOS, E. S.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D. Produtividade de grãos, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja de ciclos precoce e médio. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 3, p. 1203-1214, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3p1203>. Acesso em: 30 nov. 2024.

VIANA, J. et al. Condicionantes para cultivo de soja tolerante ao déficit hídrico no Semiárido Nordeste. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 4, p. e16710413980-e16710413980, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13980>. Acesso em: 21 nov. 2024.

WINCK, J. M. Lacunas de produtividade em soja no Rio Grande do Sul e caracterização fisiológica de genótipos com tolerância a déficit hídrico. 2022. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

WRICKE, G. Zur Berechnung der Ökovalenz bei Sommerweizen und Hafer. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*, v. 52, n. 2, p. 127-138, 1965.

YANG, W. et al. Critical Photoperiod Measurement of Soybean Genotypes in Different Maturity Groups. *Crop Breeding & Genetics*, v. 59, n. 5, p. 2055-2061, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci2019.03.0170>. Acesso em: 21 nov. 2024.

YOKOMIZO, G. K.; ARIAS, C. A.; NETO, S. P.; SANTOS, I. C. Desempenho de cultivares de soja no cerrado do Amapá quanto a estabilidade e adaptabilidade. *Científico - Multidisciplinary Journal*, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.37951/2358-260X.2022v9i1.5930>. Acesso em: 30 nov. 2024.

ANEXO A – Descrição dos genótipos avaliados

Descrição dos genótipos avaliados

Genótipo	Cor pubescência Hasta	Cor de pubescência Vagem	Cor de hilo da semente	Cor tegumento da semente	Forma semente	Intensidade Brilho de tegumento
Cultivar 1	Marrom média	Marrom claro	Preta	Amarela	Esférica achatada	Alto
Cultivar 2	Cinza	Marrom média	Preta	Amarela	Esférica achatada	Médio
Cultivar 3	Cinza	Marrom claro	Preta	Amarela	Esférica achatada	Médio
Linhagem 1	Marrom claro	Marrom média	Cinza	Marrom claro	Esférica achatada	Baixo
Linhagem 2	Marrom média	Marrom escura	Cinza	Marrom média	Esférica achatada	Baixo
Linhagem 3	Marrom média	Marrom escura	Cinza	Marrom claro	Esférica achatada	Baixo
Linhagem 4	Marrom média	Marrom escura	Cinza	Marrom claro	Esférica	Baixo
Linhagem 5	Marrom claro	Marrom escura	Cinza	Marrom escura	Esférica achatada	Baixo

Fonte: Adaptado a metodologia do MAPA (2019) sobre a denominação das cultivares de soja.