



**LARISSA FERREIRA DE LIMA MESCOUTO**

**COLHEITA ANTECIPADA: UMA TÉCNICA EFICIENTE  
PARA O MELHORAMENTO ACELERADO EM SOJA**

**LAVRAS - MG  
2021**

**LARISSA FERREIRA DE LIMA MESCOUTO**

**COLHEITA ANTECIPADA: UMA TÉCNICA EFICIENTE PARA O  
MELHORAMENTO ACELERADO EM SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi

Orientador

Dr. Carlos Eduardo Pulcinelli

Co-orientador

**LAVRAS – MG  
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Mescouto, Larissa Ferreira de Lima.

Colheita antecipada: Uma técnica eficiente para o  
melhoramento acelerado em soja. / Larissa Ferreira de Lima  
Mescouto. - 2021.

55 p.

Orientador(a): Adriano Teodoro Bruzi.

Coorientador(a): Carlos Eduardo Pulcinelli.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Glycine max (L) Merrill. 2. Speed Breeding. 3.  
Melhoramento Genético. I. Bruzi, Adriano Teodoro. II. Pulcinelli,  
Carlos Eduardo. III. Título.

**LARISSA FERREIRA DE LIMA MESCOUTO**

**COLHEITA ANTECIPADA: UMA TÉCNICA EFICIENTE PARA O  
MELHORAMENTO ACELERADO EM SOJA**

**EARLY HARVEST: AN EFFICIENT TECHNIQUE FOR ACCELERATE  
SOYBEAN BREEDING**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção de título de Mestre.

APROVADO em 04 de Junho de 2021

Dr. FELIPE LOPES DA SILVA, UFV

Dr. HELOISA OLIVEIRA DOS SANTOS, UFLA

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi

Orientador

Dr. Carlos Eduardo Pulcinelli

Co-orientador

**LAVRAS-MG  
2021**

*À minha família por todo amor.*

*Dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus pelo dom da vida e por me ter concedido viver essa realização.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Biologia, pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

Ao meu esposo, Felipe, pelo amor, companheirismo, compreensão e dedicação.

Aos meus pais, Gerson e Silvana, por todos os ensinamentos, apoio, conselhos, amor e inspiração.

Ao meu irmão Wellington, cunhada e sobrinho, pelo carinho e confiança.

Ao professor Adriano Teodoro Bruzi pela orientação e ensinamentos, sem os quais esta conquista jamais seria alcançada.

Ao Carlos Eduardo Pulcinelli pela co-orientação do projeto, e todos os ensinamentos.

Aos amigos do grupo Pesquisa Soja, pela convivência e toda a ajuda na condução dos experimentos.

Aos grandes amigos feitos, durante esta jornada, em especial, Laurenia, Maiara, Éric, Diego, Ewerton, Elaine, Talita, Gabriel, Rayner e Carol.

À coordenação da pós-graduação em Genética e Melhoramento de plantas da UFLA, professora Flávia Avelar e Lilian por toda disposição em ajudar.

Aos funcionários do setor de Agricultura e grandes culturas da UFLA, em especial, Antônio, Arnaldi e Ezequiel.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES)- Código de Financiamento 001.

## RESUMO

Os programas de melhoramento de plantas autógamas independentemente do método de condução da população segregante exigem o avanço de muitas gerações de endogamia para se obter uma linhagem com todos os locos de interesse fixados, conseqüentemente, a recomendação de uma nova cultivar é demorada. O tempo para se obter uma nova cultivar pode ser reduzido por meio de protocolos de “speed breeding” que podem diminuir em mais da metade, o número de anos despendidos desde a obtenção da população segregante até a obtenção de linhagens, para algumas culturas de inverno como trigo, cevada, grão de bico e canola. O “speed breeding” é uma metodologia proposta para acelerar as gerações em programas de melhoramento, através de um conjunto de ferramentas como: ajuste do comprimento de onda e intensidade da luz, temperatura otimizada, enriquecimento do teor de CO<sub>2</sub> na atmosfera, que maximizam a taxa de fotossíntese, além da colheita antecipada e germinação de sementes imaturas. Neste trabalho, objetivou-se avaliar a viabilidade das sementes de soja nos diferentes estádios fenológicos de desenvolvimento, especificamente nos estádios R6, R7 e R8; estimar parâmetros genéticos e fenotípicos associados a qualidade fisiológica das sementes imaturas em soja; e estudar a viabilidade da colheita antecipada como alternativa para o emprego do melhoramento acelerado na cultura da soja. Foram utilizadas trinta e duas linhagens do experimento de Valor de cultivo e uso-VCU do programa de melhoramento de soja para precocidade e produtividade de grãos, conduzidos na Universidade Federal de Lavras-UFLA, provenientes de Lavras, Ijaci, Itutinga e Nazareno das safras 2018/2019 e 2019/2020. A qualidade da semente foi aferida por meio do teste padrão de germinação em papel germitest, teste de comprimentos de plântulas e teste de emergência em bandejas sob condições controladas. Os testes realizados foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizados com quatro repetições. Os caracteres avaliados foram germinação de plântulas normais, comprimento de radícula e hipocótilo nos testes de germinação e porcentagem de emergência no teste em bandejas. Os componentes quadráticos e de variância foram estimados utilizando o *software* livre R. As estimativas do componente quadrático genotípico e o coeficiente de determinação genotípica foram de baixa magnitude, evidenciando que os atributos de qualidade fisiológica da semente são muito influenciados pelos fatores ambientais. As sementes imaturas (R6, R7) apresentaram elevadas taxas de emergência de plantas. O ganho médio de antecipação da colheita foi de 18,5% para o experimento precocidade e de 17% para o experimento produtividade e o ganho em dias com antecipação da colheita foi de 18 dias para o experimento precocidade e de 20 dias para o experimento produtividade. Diante dos resultados, infere-se que com a adoção da colheita antecipada pode-se realizar até quatro gerações de endogamia por ano na cultura da soja em condições de clima tropical de altitude, em comparação com uma geração no campo ou 2-3 gerações se viveiros de inverno forem usados.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill. “Speed Breeding”. Soja. Melhoramento Genético.

## ABSTRACT

Plant breeding autogamous programs regardless of the method used for conducting segregating populations require the advancement of many inbreeding generations to obtain a line with all loci of interest fixed, consequently the recommendation of a new cultivar is time-consuming. The time to obtain a new line can be reduced with speed breeding protocols sometimes that can decrease by more than half, the number of years spent from obtaining the segregating population to obtaining line, in some winter crops such as wheat, barley, chickpea, and canola. Speed breeding is a powerful tool to accelerate generations in breeding programs through a set of tools with: adjustment of wavelength and light intensity, optimized temperature, enrichment of CO<sub>2</sub> content in the atmosphere, which maximize the photosynthesis rate, in addition to early harvest and germination of immature seeds. Therefore, the objective was to evaluate the viability of soybean seeds in different phenological stages, specifically in stages R6, R7 and R8; estimate genetic and phenotypic parameters associated with the physiological quality of immature seeds in soybean; study on the feasibility of early harvesting to the use of soybean speed breeding. Thirty-two lines of the Value for Cultivation and Use-VCU trial from the soybean breeding program for earliness and grain yield, conducted at Universidade Federal de Lavras -UFLA and selected from Lavras, Ijaci, Itutinga and Nazareno trials at 2018/2019 and 2019/2020 crop seasons were used. Seed quality was measured by means of the germination pattern, seedling length test and emergence test in trays under controlled conditions. These trials were conducted in a completely randomized design with four replications. The characters evaluated were germination of normal seedlings, radicle length and hypocotyl in the germination tests and percentage of emergence in the test in trays. Quadratic and variance components were estimated using free software R. The estimates of the quadratic genotype component and the coefficient of genotypic determination were of low magnitude, showing that seeds physiological quality attributes are highly influenced by the environment. Immature seeds (R6, R7) showed high rates of plant emergence. The average gain in harvest anticipation was 18.5% for the precocity trial and 17% for the productivity trial and the gain in days with anticipation of the harvest was 18 days for the precocity trial and 20 days for the productivity trial. Therefore, up to four inbreeding generations per year of soybean crop In view of the results, it is inferable that with the adoption of early harvest can be performed up to four generations of inbreeding per year in soybean crop in tropical altitude climate conditions, compared to a generation in the field or 2-3 generations if winter nurseries are used.

**Keywords:** *Glycine max* (L.) Merrill. Speed Breeding. Soybean. Genetic improvement.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Médias mensais da precipitação (mm) e temperatura (°C), ocorridas nos municípios de Ijaci, Nazareno e Lavras, na safra 2019/2020 (A) e Itutinga e Ijaci, na safra 2018/2019 (B), no Estado de Minas Gerais, durante os experimentos..... 26
- Figura 2- Ganho, em dias, de antecipação da colheita de sementes imaturas (estádio R6) de genótipos de soja do experimento VCU precocidade (A) e VCU produtividade (B), nas cidades de Ijaci, Lavras e Nazareno na safra de 2019/2020.....42
- Figura 3- Ganho, em dias, de antecipação da colheita de sementes imaturas (estádio R7) de genótipos de soja do experimento VCU produtividade, nas cidades de Ijaci e Itutinga na safra de 2018/2019..... 43
- Figura 4- Ganho, em porcentagem, de antecipação da colheita de sementes imaturas (estádio R6) de genótipos de soja do experimento VCU precocidade (A) e VCU produtividade (B), nas cidades de Ijaci, Lavras e Nazareno na safra de 2019/2020.....44
- Figura 5- Ganho, em porcentagem, de antecipação da colheita de sementes imaturas (estádio R7) de genótipos de soja do experimento VCU produtividade, nas cidades de Ijaci e Itutinga na safra de 2018/2019.....45
- Figura 6- Ciclo médio geral do experimento precocidade e do experimento produtividade no campo sem colheita antecipada (1) e com colheita antecipada (2) e seus respectivos ganhos de redução de ciclo.....46

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Genótipos utilizados nos testes de qualidade fisiológica provenientes do experimento VCU precocidade e VCU produtividade do programa de melhoramento de soja da UFLA e suas respectivas informações de grupo de maturação (GM), maturação absoluta (MA), hábito de crescimento (HC) e procedência do material genético.....28
- Tabela 2- Resumo da análise de variância conjunta ( $\text{prob} > F_c$ ) de dados de porcentagem de emergência (PE), porcentagem de germinação (PG), comprimento de radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R6, R7 e R8 de genótipos de soja do experimento VCU precocidade, nas cidades de Ijaci, Lavras e Nazareno na safra de 2019/2020 e VCU produtividade, nas cidades de Ijaci e Iutinga nas safras 2018/2019 e 2019/2020 e Nazareno na safra 2019/2020 no estado de Minas Gerais/Brasil.....35
- Tabela 3- Estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para as variáveis de emergência (PE), germinação (PG), comprimento de radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R6, R7 e R8 de genótipos de soja do experimento VCU precocidade, nas cidades de Ijaci, Lavras e Nazareno na safra de 2019/2020 e VCU produtividade, nas cidades de Ijaci e Itutinga nas safras 2018/2019 e 2019/2020 e Nazareno na safra 2019/2020, no estado de Minas Gerais/Brasil.....38
- Tabela 4- Valores médios de porcentagem de emergência (PE), porcentagem de germinação (PG), comprimento da radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R6, R7 e R8 de genótipos de soja do experimento VCU precocidade, nas cidades de Ijaci, Lavras e Nazareno na safra de 2019/2020, e VCU produtividade, nas cidades de Ijaci e Itutinga nas safras 2018/2019 e 2019/2020 e Nazareno na safra 2019/2020.....40

## ANEXO A

- Tabela 1A- Resumo da análise de variância individual ( $\text{prob} > F_c$ ) e estimativas de parâmetros genéticos de dados de porcentagem de emergência (PE), porcentagem de germinação (PG), comprimento de radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R6, R7 e R8 de genótipos de soja dos experimentos VCU precocidade e VCU produtividade, na cidade de Ijaci-MG na safra de 2019/2020.....52
- Tabela 2A- Resumo da análise de variância individual ( $\text{prob} > F_c$ ) e estimativas de parâmetros genéticos de dados de porcentagem de emergência (PE), porcentagem de germinação (PG), comprimento de radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R6, R7 e R8 de genótipos de soja dos experimentos VCU precocidade e VCU produtividade, na cidade de Nazareno-MG na safra de 2019/2020.....53
- Tabela 3A- Resumo da análise de variância individual ( $\text{prob} > F_c$ ) e estimativas de parâmetros genéticos de dados de porcentagem de emergência (PE), porcentagem de germinação (PG), comprimento de radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R6, R7 e R8 de genótipos de soja dos experimentos VCU precocidade e VCU produtividade, na cidade de Lavras- MG na safra de 2019/2020.....54
- Tabela 4A- Resumo da análise de variância individual ( $\text{prob} > F_c$ ) e estimativas de parâmetros genéticos de dados de porcentagem de emergência (PE), porcentagem de germinação (PG), comprimento de radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R7 e R8 de genótipos de soja do experimento VCU produtividade, na cidade de Itutinga -MG na safra de 2018/2019.....55
- Tabela 5A- Resumo da análise de variância individual ( $\text{prob} > F_c$ ) e estimativas de parâmetros genéticos de dados de porcentagem de emergência (PE), porcentagem de germinação (PG), comprimento de radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R7 e R8 de genótipos de soja do experimento VCU produtividade, na cidade de Ijaci-MG na safra de 2018/2019.....55

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>A cultura da soja.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Fenologia da cultura da soja.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Estratégias de melhoramento visando à obtenção de linhagens de soja.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4</b>	<b>“Speed Breeding” .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Fotoperíodo.....</b>	<b>21</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Colheita antecipada e germinação de sementes imaturas.....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Suplementação de CO<sub>2</sub>.....</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Ambientes utilizados para produção de sementes.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Tratamentos Genéticos.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>Análises em laboratório.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Teste de germinação.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Teste de comprimento de plântulas.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Teste de emergência sob condições controladas.....</b>	<b>29</b>
<b>3.4</b>	<b>Análise estatística dos dados fenotípicos.....</b>	<b>30</b>
<b>3.5</b>	<b>Estimativas dos componentes genéticos e fenotípicos.....</b>	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>48</b>
	<b>ANEXO A- TABELAS.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Devido a crescente demanda por alimentos e a disponibilidade limitada de uso da terra para aumento da produção, faz-se necessário um aumento contínuo na produtividade das principais culturas ao longo do tempo. Apesar dos avanços na tecnologia de marcadores, na predição estatística e metodologias de melhoramento genético que permitem à seleção de cultivares superiores, um dos principais gargalos para que os programas de melhoramento sejam mais eficientes é o tempo demandado desde a hibridação até o lançamento de uma cultivar (DE LA FUENTE; FREI; LUBBERSTEDT, 2013). Os programas de melhoramento de espécies autógamias, independentemente do método de condução da população segregante, exigem o avanço de 4-6 gerações de endogamia para obtenção de uma linhagem com a maioria dos locos de interesse fixados, e conseqüentemente a recomendação de uma nova cultivar é demorada, em torno de 10-12 anos.

Essa dificuldade tem sido reduzida com protocolos de “speed breeding” que diminuem o tempo de recomendação para menos da metade para algumas culturas de inverno como trigo, cevada, grão de bico e canola (HICKEY et al., 2019). O “speed breeding” é uma metodologia para acelerar as gerações de endogamia em programas de melhoramento usando ajuste da qualidade e intensidade da luz, otimização da temperatura, colheita antecipada e germinação de sementes imaturas, entre outros. (WATSON et al., 2018).

Para a cultura da soja, um protocolo utilizando suplementação de CO<sub>2</sub> em câmaras de crescimento em condições de laboratório aumentou a eficiência de cruzamentos, porém não reduziu o tempo ciclo total da cultura. A suplementação de CO<sub>2</sub> aumenta o crescimento e rendimento das plantas de soja em câmaras de crescimento, produzindo maior quantidade e qualidade de botões florais, permitindo maior eficiência dos cruzamentos quando comparados aos realizados no campo. Porém, não reduz o número de dias para o florescimento, fator importante para reduzir o tempo de geração (NAGATOSHI; FUJITA, 2019).

Por seu turno, um protocolo para acelerar o florescimento da soja foi sugerido usando fotoperíodo de 10h, diferentes comprimentos de onda de luz e diferentes intensidades de iluminação de diodo emissor de luz (LED). O experimento de melhor resposta foi com o uso de maior intensidade luminosa, no entanto, este aumenta os custos devido ao uso de potentes fontes de iluminação e elevados custos de energia. Esse protocolo para soja permite até cinco gerações

de endogamia por ano, em comparação com uma geração no campo ou 2-3 gerações se viveiros de inverno forem usados. Esse protocolo não pode ser estendido a outras culturas de resposta ao fotoperíodo curto, especialmente, pois a qualidade da luz deve ser considerada dependendo da cultura (JAHNE et al., 2020).

Outra alternativa para o emprego do melhoramento acelerado é o uso da colheita antecipada, em trabalho com trigo foram colhidas sementes imaturas. Estas foram secas em estufas por três dias e a partir de testes, observou-se elevada viabilidade e vigor. A colheita antecipada permite um ciclo mais rápido da planta quando comparada com o processo normal de maturação da semente. Neste caso, o ganho com a antecipação de colheita foi de 15 dias, (WATSON et al., 2018). Uma abordagem semelhante foi reportada na literatura para a cultura da lentilha. Sementes imaturas foram retiradas das vagens, escarificadas e colocadas em placas com 12 células em solução de 0,5 ml/célula de GA<sub>3</sub> (100 µM) para germinação. Foi obtido um ciclo médio de 56 dias em cada geração. Assim pode-se inferir que adaptando esta estratégia poder-se-á conduzir seis gerações endogamia por ano, reduzindo sobremaneira o número de anos para o lançamento de uma nova cultivar (LULSDORF; BANNIZA, 2018). Na cultura da soja não há relatos na literatura de que esta estratégia tenha sido empregada de forma isolada, sem a combinação de qualidade de luz ou suplementação de CO<sub>2</sub>.

Diante disso, objetivou-se: obter um protocolo de baixo custo utilizando colheita antecipada e germinação de sementes imaturas visando antecipar a obtenção de linhagens de soja; estudar a viabilidade de sementes imaturas de soja em diferentes estádios R6, R7 e R8 para realização da colheita antecipada; e estimar parâmetros genéticos e fenotípicos associados a qualidade fisiológica das sementes imaturas em soja.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A cultura da soja

A soja *Glycine max* (L.) Merrill é considerada uma das culturas mais antigas que o homem domesticou, originária por volta do século XVII a.C na região da Manchúria, localizada no nordeste da China, região leste da Ásia (HYMOWITZ; SINGH, 1987). É uma planta pertencente à família Leguminosae, subfamília Papilionoideae e é uma espécie autógama (BORÉM; 1999).

A domesticação ocorreu devido ao consumo doméstico na região leste da Ásia, as famílias cultivavam soja contendo características específicas por sucessivas gerações para o uso na alimentação, em cerimônias religiosas, ou na medicina. Atualmente, essas variedades primitivas compõem a maior parte da diversidade genética da coleção no germoplasma de soja (HYMOWITZ; SINGH, 1987).

A sua dispersão para outros países foi intensificada com o crescimento do comércio na China, foi levada para Coreia, Japão e sudeste da Ásia. Do Japão foi levada para a Europa em 1712. Na América do Norte os primeiros cultivos de soja foram datados em 1804 na Pensilvânia, Estados Unidos da América. E no Brasil o seu cultivo iniciou em 1882 no Estado da Bahia, seguido pelo Estado de São Paulo por meio da introdução da espécie pelos migrantes japoneses e em 1914 chegou ao Rio Grande do Sul (BONETTI, 1981).

As cultivares de soja acumuladas pelos pesquisadores C.M Woodward e L.F Williams na Universidade de Illinois desde 1921 proporcionaram o início da coleção de soja, em 1955 a coleção tornou-se responsabilidade do USDA (PALMER; KILEN, 1987).

Uma das coleções brasileiras é mantida no Centro Nacional de Recursos Genéticos-CENARGEM da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (TOLEDO et.al., 1994). Além dessa, outras instituições privadas e públicas mantêm as coleções de germoplasma da soja, como o Instituto agrônomo de Campinas, a Universidade Federal de Viçosa, a Universidade de São Paulo, a Universidade Estadual de Londrina e a Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda (SEDIYAMA; TEXEIRA; REIS, 1999).

A soja, por ser proveniente da China tinha como característica cultivo sob condições de dias longos, quando cultivadas próximas ao Equador as plantas floresciam precocemente e

consequentemente a produtividade era desprezível, os melhoristas obtiveram cultivares com período junevil longo, que mesmo sob dias curtos, a produtividade tornou-se economicamente viável (VENCOVSKY; RAMALHO, 2006).

A primeira variedade de soja desenvolvida no Brasil foi lançada em 1960, denominada de Pioneira, por meio das pesquisas com soja iniciadas no Rio Grande do Sul na década de 30 (MAGALHÃES, 1981). Ainda com os trabalhos de hibridação em andamento, os agricultores do Rio Grande do Sul utilizavam as melhores introduções provenientes do Sul dos EUA, pois se adaptaram melhor para a região sul do Brasil, substituindo as cultivares ultrapassadas como a Amarela do Rio Grande que chegou a ocupar 90% da área da leguminosa do Estado (SEDIYAMA; TEXEIRA; REIS, 1999).

Atualmente, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento- CONAB (2021) na safra 2020/21 estimasse produção recorde de soja de 135,55 milhões de toneladas, 8,6% ou 10,7 milhões de toneladas superior a produção da safra 2019/20. Com área plantada de 38,473 mil ha e produtividade de 3,253 kg/ha, com incremento de 4,1% e 4,3%, respectivamente, em comparação a safra anterior. Além da safra recorde, o Brasil é o maior produtor mundial da leguminosa.

Apesar da safra recorde, o alto volume de chuvas no período da colheita dos grãos ocasionou uma quantidade concentrada de soja saindo do campo com a umidade elevada, avolumando os problemas de qualidade dos grãos e demandando mais tempo nos pontos de recebimento de soja para padronização dos lotes (CONAB, 2021).

O momento é ideal para o Brasil, pois além de estar no topo da produção mundial, o preço de mercado está aquecido, devido a alta de 62,79% no preço na Bolsa de Valores de Chicago (CBOT) de março de 2021 em relação a média de março de 2020. A alta no mercado internacional teve como fundamento os baixos estoques americanos e redução de produção de soja na Argentina, que é um dos maiores players de mercado mundial no fornecimento de farelo e óleo de soja. Além desses fatores, outros como a forte demanda por óleos vegetais (principalmente biodiesel) e problemas na safra da Palma na Ásia foram importantes para a elevação dos preços (CONAB, 2021).

Com o preço do mercado internacional em alta e o real desvalorizado são os principais motivos para a alta dos preços nacionais que, em março de 2021, foram cotados em média de R\$ 157,39 a saca de 60 quilos, um aumento de 92,36% em relação ao mesmo período de 2020 (CONAB, 2021).

Em uma análise regional, a região Norte-Nordeste apresentou incremento em relação à safra passada de 6,6% de área plantada e estima-se um incremento de 7,3% de produção, devido ao clima favorável. A região Centro- Oeste foi bastante afetada pela instabilidade do clima, que trouxe vários problemas para a lavoura, principalmente na colheita, apesar disso, apresentou um incremento em de 3,5% na área plantada e expectativa de aumento de produção de 1,1%. Na região Sudeste ocorreu incremento expressivo de 11% na área plantada, as produtividades nas lavouras não foram duramente afetadas ao longo do desenvolvimento e, por isso, a produção registra forte impulso, aumentando em 11,7%. A região Sul apresentou incremento de área de 2,3% e estima-se ter recorde de produção, principalmente, no Rio Grande do Sul com incremento de 21,1% sobre a safra passada, no entanto, no Paraná o clima afetou drasticamente a produtividade das lavouras (CONAB, 2021).

O clima foi o principal fator que comprometeu as principais regiões produtoras de soja do Brasil. As plantas apresentaram distúrbios fisiológicos provocadas por estiagem na germinação, comprometendo o estande, seguida de muita chuva e muita nebulosidade, resultando em abortamento de vagens, redução do tamanho dos grãos e grãos verdes e, por último, falta de chuvas para as lavouras mais tardias (CONAB, 2021).

## **2.2 Fenologia da cultura da soja**

A caracterização dos estágios de desenvolvimento da soja é importante para a descrição do ciclo da cultura, además, o uso de uma linguagem padronizada facilita a comunicação entre os diferentes públicos envolvidos na cultura da soja. Portanto, a metodologia de descrição do estágio de desenvolvimento deve ser objetiva, precisa e universal, capaz de descrever qualquer cultivar. A metodologia descrita por FEHR; CAVINESS (1977) é a mais utilizada no mundo inteiro e apresenta todas essas características (EMBRAPA, 2007).

A metodologia divide em dois estágios o desenvolvimento da soja, o estágio vegetativo representado por V, e o estágio reprodutivo representado por R, com exceção dos estágios VE-emergência e VC-cotiledone, seguidos de um índice numeral que identificam um estágio específico (FEHR; CAVINESS, 1977).

Os primeiros estágios da plântula são o VE e VC, o estágio de emergência é considerado quando a plântula possui seus cotilédones acima da superfície do solo e com ângulo igual ou

maior que 90° com o seu hipocótilo, após a abertura completa dos cotilédones a plântula encontra-se em estágio de cotilédone (EMBRAPA, 2007).

Após o estágio VC inicia o estágio vegetativo que varia de  $V_1$  à  $V_n$ , em que  $n$  é o número de nós acima do nó cotiledonar com folha completamente desenvolvida, isto é, quando os bordos dos folíolos da folha trifoliolada não mais se tocam (EMBRAPA, 2007).

Os estádios reprodutivos, denominados de  $R_1$  ao  $R_8$ , descrevem o desenvolvimento reprodutivo da soja em quatro fases: o florescimento, o desenvolvimento da vagem, o desenvolvimento do grão e a maturidade da planta (EMBRAPA, 2007).

O estágio  $R_1$  é o início do florescimento da planta, é indicado pela primeira flor aberta em qualquer nó do caule- hasta principal. O estágio  $R_2$  é o florescimento pleno, presença de uma flor aberta num dos dois últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida. O estágio  $R_3$  é o início da formação da vagem, com medição de vagem com 5 mm de comprimento em um dos quatro últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida. O estágio  $R_4$  a vagem está completamente desenvolvida, medindo 2 cm de comprimento (EMBRAPA, 2007).

O estágio  $R_5$  é o início do enchimento do grão, contendo grãos com 3 mm de comprimento em vagem em um dos quatro últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida (EMBRAPA, 2007). RITCHIE; HANWAY; THOMPSON (1977) para o melhor detalhamento do estágio  $R_5$  propôs a sua subdivisão em cinco sub-estádios, de acordo com a porcentagem de granação, descritos como  $R_{5,1}$ - com 10% de granação;  $R_{5,2}$ - 11 a 25%;  $R_{5,3}$ - 26 a 50%;  $R_{5,4}$ - 51 a 75%;  $R_{5,5}$ - 76 a 100%.

O estágio  $R_6$  a vagem possui grão cheio ou completo, presença de uma vagem com preenchimento total da sua cavidade com grãos verdes. O estágio  $R_7$  é o início da maturação, uma vagem normal com coloração de madura. O estágio  $R_8$  a planta está com maturação plena, 95% das vagens com coloração de madura (EMBRAPA, 2007).

### **2.3 Estratégias de melhoramento visando à obtenção de linhagens de soja**

As estratégias de melhoramento são divididas em duas classes, as que exploram a variabilidade natural e as que ampliam a variabilidade. As primeiras cultivares das espécies autógamias foram obtidas por seleção em populações heterogêneas, com a exaustão da variabilidade natural os melhoristas buscaram métodos que ampliassem a variabilidade genética, têm-se conseguido isto pelo método da hibridação (BORÉM, 1999).

A hibridação, é a fusão de gametas geneticamente diferentes que resulta em indivíduos heterozigóticos. Deve ser utilizado quando objetivo do programa é reunir em uma cultivar alelos desejáveis que se encontram em linhagens distintas por meio da recombinação genética. O sucesso na obtenção de cultivares depende de vários fatores dentre eles, a escolha correta dos genitores ou parentais, a obtenção da população segregante e estratégias de seleção (BORÉM, 1999).

Por fim, de acordo com o objetivo do programa de melhoramento é escolhido o método de condução da população segregante. Os métodos de condução que não separam a fase de endogamia e seleção: Massal e Genealógico; e os métodos que separam as fases de endogamia e seleção: Bulk, Bulk dentro de progênes, SSD e SPD, isto é, a seleção só é iniciada após a maioria dos locos estarem em homozigose. Para escolha do método leva-se em consideração a característica a ser avaliada, a mão de obra disponível, se é importante o registro da genealogia, a experiência do melhorista, entre outros.

A seleção Massal tem como princípio, por meio da escolha dos melhores fenótipos, aumentar a média geral da população com a reunião dos seus fenótipos superiores. Portanto, a seleção é feita pelo fenótipo, no entanto, como os indivíduos com fenótipos semelhantes podem ser genotipicamente diferentes, a seleção nem sempre é efetiva (BORÉM; MIRANDA, 2013).

Esse método é indicado para caracteres de alta herdabilidade e preconiza a seleção visual de um grande número de indivíduos que serão colhidos em conjunto e constituirão a geração seguinte (BUENO; MENDES; CARVALHO, 2006).

O método genealógico ou pedigree baseia-se na seleção individual de plantas na população segregante com avaliação de cada progênie separadamente pelo teste de progênie, dessa forma, a seleção é com base no genótipo. Uma das características desse método é o registro da genealogia de cada linha, que permite estabelecer o grau de parentesco entre as linhas selecionadas. Esse método foi o mais popular para o desenvolvimento de linhagens de espécies autógamas até meados da década de 1970, mas ele vem sendo substituído desde então (BORÉM, 1999).

No método genealógico a seleção das plantas superiores inicia-se a partir da geração  $F_2$ , cada planta  $F_2$  é conduzida em uma fileira na  $F_3$ , a partir desta é realizada a seleção entre e dentro de famílias, esse procedimento é realizado nas gerações seguintes até atingir um alto nível de homozigose. As linhas promissoras e uniformes devem ser colhidas em massa e destinadas ao ensaio preliminar de linhagem -EPL, posteriormente pelo ensaio intermediário de avaliação de

linhagens-EIL, ensaio final de avaliação de linhagens- EFL e ensaio de valor cultivado e uso -VCU (SEDIYAMA; TEXEIRA; REIS, 2013).

No método de populações ou Bulk para avanço de geração todas as sementes são colhidas de todas as plantas, o melhorista não faz seleção até a geração F<sub>6</sub> ou F<sub>7</sub>, submetidas apenas a pressão da seleção natural (SEDIYAMA; TEXEIRA; REIS, 1999). É um método de fácil condução e necessita de pouca mão de obra. Nesse método a capacidade de sobrevivência em competição está correlacionada positivamente com a adaptabilidade e produtividade, portanto, o melhorista deve escolher o ambiente onde a seleção natural favoreça os indivíduos desejáveis (BORÉM, 1999).

Os programas de melhoramento independente do método de condução da população segregante exigem o avanço de muitas gerações para se obter uma linhagem com todos os locos de interesse fixados, conseqüentemente a recomendação de uma linhagem é demorada, em programa de melhoramento convencional, geralmente, leva-se de 10 a 12 anos.

## 2.4 “Speed Breeding”

Inspirados pelo trabalho da NASA, com crescimento de trigo sob luz constante em estações espaciais que resultou no desenvolvimento de “USU-Apogee” uma linhagem de trigo anã melhorada para ter um rápido ciclo, pesquisadores da Universidade de Queensland designaram em 2003 o termo “speed breeding” para um conjunto de métodos aperfeiçoados para acelerar o melhoramento de trigo (HICKEY et al., 2019).

É um método que reduz significativamente o tempo de geração e acelera as pesquisas nos programas de melhoramento. O “speed breeding” pode ser usado para atingir até seis gerações por ano para o trigo de primavera (*Triticum aestivum*) (WATSON et al., 2018).

Para maioria das plantas cultivadas a produção de uma nova cultivar demora vários anos, com necessidade de 4-6 gerações de endogamia para se obter uma linhagem. As metodologias com o uso de fotoperíodo ajustado, qualidade da luz, suplementação de CO<sub>2</sub>, colheita e germinação de sementes imaturas são sugeridas para reduzir o tempo de geração (WATSON et al., 2018).

Os procedimentos de “speed breeding” apresentados ocorrem em ambiente artificial fechado, que difere significativamente do campo. Apesar disso, essa metodologia pode ser usada para

muitas atividades como cruzamentos, SSD e triagem para algumas características. No entanto, para outras atividades como seleção para adaptação no ambiente de destino ainda deve ocorrer no campo (GHOSH et al., 2018).

#### 2.4.1 Fotoperíodo

O avanço de apenas uma ou duas gerações de endogamia por ano para a maioria das culturas é uma das principais limitações para o melhoramento de plantas. Essa limitação em sido reduzida com protocolos de “speed breeding” que usam fotoperíodos ajustados e temperaturas controladas para reduzir o tempo de geração em mais da metade para algumas culturas de inverno como trigo, cevada, grão de bico e canola (HICKEY et al., 2019).

WATSON et al. (2018) cultivaram genótipos de trigo em ambiente controlado associado à fotoperíodo prolongado (22 horas de luz/ 2 horas de escuro) e compararam com o crescimento de plantas em estufas sem suplementação de luz ou aquecimento durante a primavera e o início do verão. As plantas cultivadas em fotoperíodo longo abriram as flores (antese) em aproximadamente metade do tempo que as plantas em estufas sem suplementação de luz.

Apesar do rápido crescimento das plantas em ambiente com fotoperíodo prolongado, houve um bom número de espigas por planta, além disso, as plantas apresentaram maior uniformidade da antese e esse sincronismo de florescimento é desejável para a realização de cruzamentos. O tempo da geração pode ser acelerado com o aumento da temperatura (WATSON et al., 2018).

WATSON et al. (2018) utilizando o mesmo regime de fotoperíodo e temperatura testada no trigo obtiveram redução no tempo de geração para cevada, grão de bico, ervilha, canola, o modelo de grama (*B.distachyon*) e o modelo de leguminosa (*Medicago truncatula*) quando comparadas as plantas cultivadas em campo ou estufa sem luz complementar. Nessas condições as plantas se desenvolveram normalmente, as plantas podiam ser facilmente cruzadas e com alta taxa de germinação de sementes.

Diante disso, os protocolos de “speed breeding” recomendam fotoperíodo de 22h com 2 h de escuridão em um ciclo de 24 horas, para as culturas de dias longos. Entretanto, esse protocolo de “speed breeding” tem limitações para o uso de plantas de fotoperíodo curto (GHOSH et al., 2018).

Nos casos em que a resposta do fotoperíodo é desconhecida ou complexa é necessário

realizar experimentos com parâmetros de luz e temperatura para aperfeiçoar uma estratégia de “speed breeding”. No geral, o protocolo de “speed breeding” é mais direto e fácil de ser implementado para culturas de fotoperíodos longos e espécies de dia neutro que não requerem a vernalização (GHOSH et al., 2018).

NAGATOSHI; FUJITA (2019) com o objetivo de elaborar um protocolo de melhoramento acelerado para a cultura da soja, utilizando suplementação de CO<sub>2</sub> em combinação com ciclos de luz e temperatura, propuseram o uso de lâmpadas fluorescentes de 220 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> ao nível da copa na câmara de crescimento, 14 h de luz a 30°C e 10 h de escuro a 25°C, para diminuir os custos de energia quando comparados aos protocolos para culturas de inverno com fotoperíodo longo propostos por WATSON et al. (2018). Foram testadas três cultivares, a Enrei e Williams 82 (cultivares japonesas) e a BR16 (cultivar brasileira), no entanto, não houve redução significativa no número de dias para o florescimento. A redução dos dias para o florescimento é um dos fatores que possibilita o melhoramento acelerado.

Um protocolo de melhoramento acelerado para a soja, cultura de fotoperíodo curto, foi sugerido usando fotoperíodo  $\leq 12$  h, pois nestas condições as plantas apresentaram florescimento acelerado e menor altura. Além disso, sob tais condições, todos os genótipos de soja floresceram de forma homogênea, permitindo o uso de grupos de maturidade precoces e tardios no mesmo ciclo de crescimento. Em relação ao comprimento da luz, não recomendaram o uso de luz vermelha distante ( $> 700\text{nm}$ ), pois esta não afetou o tempo de floração e produziu acamamento das plantas, ocorreu uma menor altura das plantas com o uso da relação luz vermelha/azul baixa e a inclusão de LEDs verdes (500-560nm) (JAHNE et al., 2020).

Esse protocolo para soja permite até cinco gerações por ano, em comparação com uma geração no campo ou 2-3 gerações se viveiros de inverno forem usados. Esse protocolo elaborado para a soja foi testado em outras culturas de ciclo curto, o arroz e o amaranto, ao contrário da soja, floresceram mais rapidamente com o uso de luz vermelha distante e não levou ao acamamento das plantas. Portanto, esse protocolo não pode ser estendido a outras culturas de resposta ao fotoperíodo curto, especialmente, pois a qualidade da luz deve ser considerada dependendo da cultura (JAHNE et al., 2020).

#### 2.4.2 Colheita antecipada e germinação de sementes imaturas

Em trabalho com trigo foram colhidas sementes imaturas, estas foram secadas em estufas por três dias e a partir de testes demonstraram elevada viabilidade. Essa técnica permite um ciclo mais rápido da planta quando comparada com o processo de maturação regular da semente, que dimiui 15 dias para essa cultura, apesar de se ter perda de peso no grão (WATSON et al., 2018).

As sementes foram colhidas 2-3 semanas após a antese, os grãos colhidos foram mantidos em sacos de papel e secos a 28-30°C durante 3 a 5 dias para reduzir o teor de umidade, as espigas foram debulhados e os grãos foram armazenados à temperatura ambiente. Para a avaliação da taxa de germinação as sementes foram colocadas em placas de petri forradas com papel filtro e molhadas com água estéril em sala com temperatura controlada e foram observadas em intervalos diários durante 5 dias (WATSON et al., 2018).

Uma abordagem semelhante foi utilizada com lentilhas, sementes imaturas foram retiradas das vagens, escarificadas e colocadas em placas com 12 células em solução de 0,5 ml/célula de GA<sub>3</sub> (100 µM) para germinação. Foi obtido um ciclo médio de 56 dias em cada geração, podendo produzir seis gerações de lentilhas por ano, reduzindo o tempo de seis gerações pela metade (LULSDORF; BANNIZA, 2018).

Em soja produzida em câmara de crescimento com suplementação de CO<sub>2</sub> e fotoperíodo ajustado foi realizada a colheita de vagens imaturas aos 37 dias após o florescimento à medida que a vagem iniciava a mudança de cor verde para amarela, após oito dias de secagem a sua cor mudou para castanho escuro. Após sete dias da sementeira, foi obtido uma taxa de 100% de germinação, indicando que a colheita de sementes imaturas pode ser usada para reduzir ainda mais o tempo de geração de plantas de soja cultivadas em câmara de crescimento suplementada com CO<sub>2</sub> (NAGATOSHI; FUJITA, 2019).

Visando um protocolo para obtenção de sementes de soja em dois meses em câmeras com LEDs, as sementes foram colhidas de forma escalonada (56, 63, 70 e 77 dias após a sementeira), a germinação média aumentou de 50% no dia 56 para 90% no dia 77 e, da mesma forma, a homogeneidade da germinação entre os genótipos aumentou. Além disso, intensidades de luz mais fortes como 480 e 1511 µmol/ m<sup>2</sup> produziram em média 60% e 80% de germinação, respectivamente, aos 63 dias após a sementeira. Também estendendo a duração da iluminação de 10h para 18h após o florescimento aumentou em 8% a germinação, no entanto, a melhor

combinação foi usando intensidade de luz de  $1160 \mu\text{mol}/\text{m}^2$  e incluindo luz verde, produzindo em média 78% de germinação aos 63 dias após a semeadura (JAHNE et al., 2020).

Apesar da maior percentagem de germinação alcançada utilizando altas intensidade de luz e luz verde, os custos com energia e fonte de luz de LEDs encarecem a sua obtenção e não foi possível a sincronização da maturidade fisiológica entre os genótipos. Concluíram que um tempo de maturidade mais longo, em média 75 dias, é necessário para ter êxito com o melhoramento acelerado (JAHNE et al., 2020).

HICKEY et al. (2019) sugeriram o tratamento de giberilina para melhorar a germinação de sementes verdes (imaturas). JAHNE et al. (2020) verificaram que sementes de soja verdes, colhida aos 56 dias após a semeadura, tratadas com giberilina aumentaram sua germinação em 7% em média, em oposição ao tratamento controle contendo apenas água. No entanto, uma ampla variação entre os genótipos foram observadas e a diferença entre os tratamentos não foi significativa em nenhum momento, além disso, aumentou o comprimento do hipocótilo das plântulas de soja, um atributo que não é desejado para otimização de espaço.

### **2.4.3 Suplementação de CO<sub>2</sub>**

TANAKA; HAYASHI; IWATA (2016) em trabalho com arroz japonês demonstraram que a suplementação de CO<sub>2</sub> aumenta a eficiência fotossintética da planta. Ocasionalmente aumento da biomassa e crescimento das plantas. A suplementação de CO<sub>2</sub> de cerca de 500 ppm, geralmente, aumentou o comprimento do colmo, número de panícula, número de espiguetas férteis, percentagem de grãos maduros e o peso total de grãos.

NAGATOSHI; FUJITA (2019) em trabalhos com a soja verificaram que a concentração de CO<sub>2</sub> na câmara de crescimento mudava dependendo do crescimento da soja, isso sugere que a concentração de CO<sub>2</sub> no interior da câmara de crescimento é fortemente afetada pela fotossíntese e respiração das plantas de soja, de acordo com as observações anteriores de OHNISHI et al. (2011) e TANAKA; HAYASHI; IWATA (2016) com arroz. Foi verificado que a suplementação de CO<sub>2</sub> aumenta o crescimento e desenvolvimento de soja, em termos de área foliar total, altura das plantas, comprimento total de ramos, peso seco de folha, haste e raiz, além de aumentar o rendimento de sementes por planta em quantidade e peso. Además a suplementação de CO<sub>2</sub> melhorou a quantidade e qualidade de flores de soja, indicando cruzamentos mais eficazes que os

realizados em campo (NAGATOSHI; FUJITA, 2019).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Ambientes utilizados para produção de sementes**

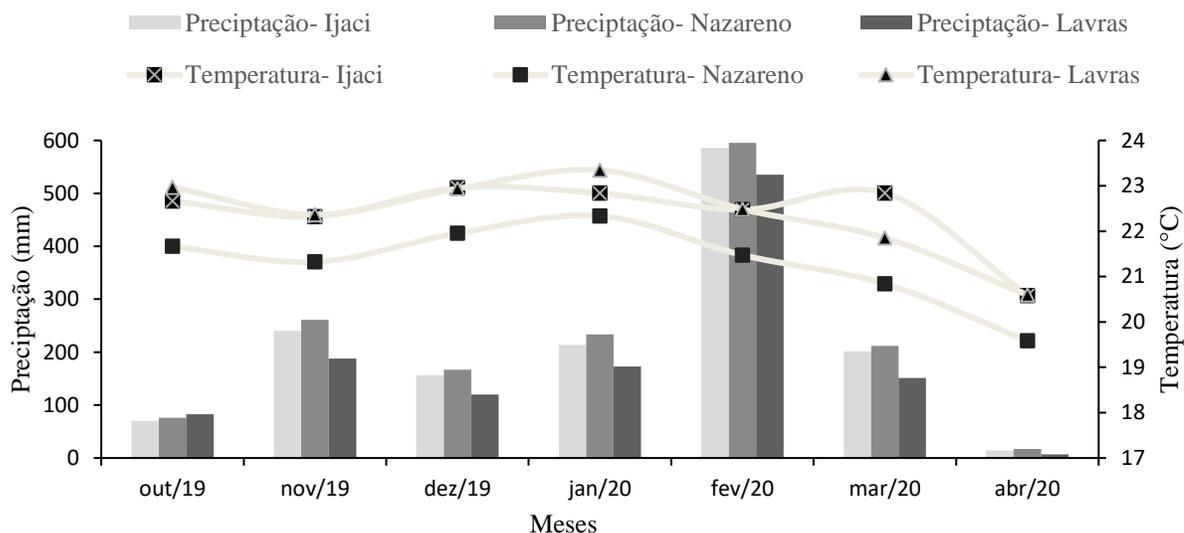
A colheita antecipada de sementes de soja avaliadas neste estudo foram provenientes de dois anos agrícolas distintos e em quatro locais. Para o ano agrícola 2018/2019, as sementes foram produzidas na área experimental de Itutinga e Ijaci. Por seu turno, no ano agrícola 2019/2020, as sementes foram produzidas na área experimental de Ijaci, Nazareno e Lavras.

- Itutinga, MG. Fazenda Milanez, situada à latitude de 21°17'53'' Sul, longitude 44°39'28'' Oeste, altitude de 970 m, pluviosidade média anual de 1.593 mm e temperatura média de 19,6 °C.
- Ijaci, MG. Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras - Fazenda Palmital, situada à latitude de 21°09' Sul, longitude 44°54' Oeste, altitude de 920 m, pluviosidade média anual de 1.508 mm e temperatura média de 20,4 °C.
- Nazareno, MG. Fazenda G7, situada à latitude 21°12'46" Sul e longitude 44° 35' 54" Oeste, altitude de 926 m, pluviosidade média anual de 1.551 mm e temperatura média de 24,5 °C.
- Lavras, MG. Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras - Fazenda Muquém, situada à latitude de 21°14' Sul, longitude 45°00' Oeste, altitude de 918 m, pluviosidade média anual de 1.237 mm e temperatura média de 20,2 °C.

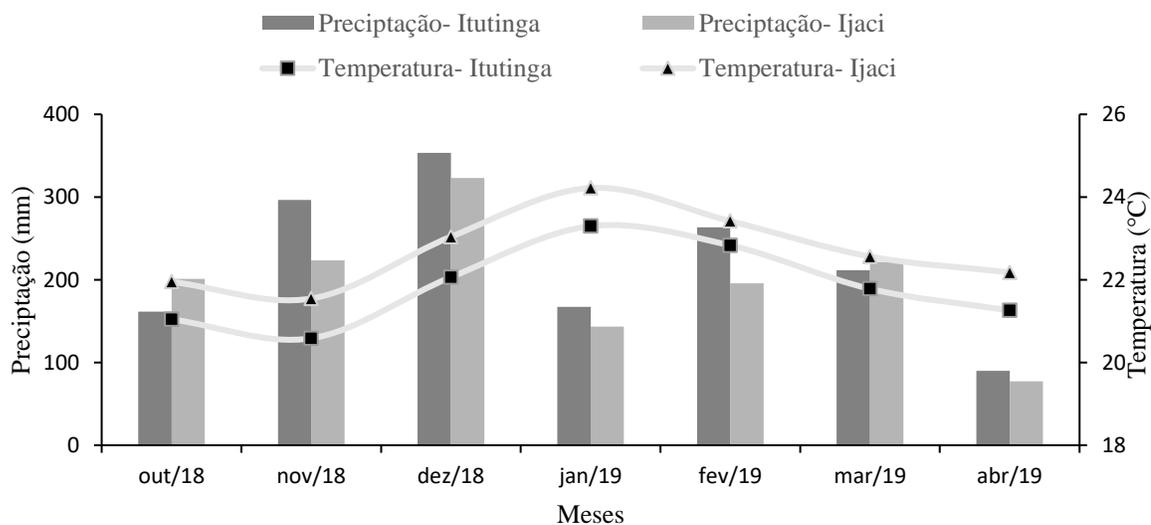
Os dados climatológicos referentes aos ambientes utilizados na safra 2019/2020 e na safra 2018/2019 estão apresentados na Figura 1.

Figura 1- Médias mensais da precipitação (mm) e temperatura (°C), ocorridas nos municípios de Ijaci, Nazareno e Lavras, na safra 2019/2020 (A) e Itutinga e Ijaci, na safra 2018/2019 (B), no Estado de Minas Gerais, durante os experimentos.

(A)



(B)



Fonte: INMET (2021)

### 3.2 Tratamentos Genéticos

Foram utilizadas para avaliação da qualidade fisiológica, sementes de genótipos do experimento de Valor Cultivo e Uso (VCU), provenientes do programa melhoramento de soja da Universidade Federal de Lavras-UFLA dos programas de melhoramento para precocidade e produtividade de grãos, descritos na Tabela 1.

As linhagens foram avaliadas em campo nas safras de primavera/verão 2018/2019 e 2019/2020, adotando parcela de 4 linhas de 5 metros com três repetições. A semeadura foi realizada manualmente. A inoculação foi realizada no sulco de plantio após a semeadura, de acordo com a metodologia recomendada pela EMBRAPA (2013), com bactérias *Bradyrhizobium japonicum* na dose de 18 mL p. c. kg<sup>1</sup> de semente - estirpes SEMIA 5079 e 5080, contendo 10.8 x 10<sup>6</sup> UFC/sementes do inoculante Nitragin Cell Tech HC® (3 x 10<sup>9</sup> UFC/mL). O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado de acordo com as recomendações técnicas indicadas para a cultura da soja (EMBRAPA, 2013).

A colheita das sementes foram realizadas nos estádios R6, R7 e R8, segundo a escala de FEHR; CAVINESS (1977). Após as plantas da parcela atingirem o estágio fenológico desejado foram colhidas 10 plantas por parcela em cada estágio fenológico avaliado. Imediatamente após a colheita foi realizada a debulha manual das vagens, seguida para os procedimento dos testes laboratórias. Para as cultivares de soja indeterminadas foram colhidas as plantas por parcelas e selecionadas as vagens que melhor caracterizavam o estágio fenológico desejado para análise da qualidade da semente.

Tabela 1- Genótipos utilizados nos testes de qualidade fisiológica provenientes do experimento VCU precocidade e VCU produtividade do programa de melhoramento de soja da UFLA e suas respectivas informações de grupo de maturidade relativa (GM), maturação absoluta média (MA), hábito de crescimento (HC) e procedência.

Genótipos	GM	MA	HC	Procedência
VCU Precocidade				
1	5.6	112	SD	UFLA- Programa de Seleção Recorrente Precocidade
2	5.6	113	SD	UFLA- Programa de Seleção Recorrente Precocidade
4	5.7	113	SD	UFLA- Programa de Seleção Recorrente Precocidade
5	5.7	113	SD	UFLA- Programa de Seleção Recorrente Precocidade
6	5.5	111	SD	UFLA- Programa de Seleção Recorrente Precocidade
27	5.9	116	I	UFLA- Programa de Melhoramento
28	5.9	115	I	UFLA- Programa de Melhoramento
31	5.9	116	I	UFLA- Programa de Melhoramento
33	6.0	116	I	UFLA- Programa de Melhoramento
45	6.2	119	I	UFLA- Programa de Melhoramento
ANTA 82RR	7.4	128	SD	TMG
P95R51	5.5	109	I	Pionner
M6410	6.4	122	I	Monsoy
NS7300	7.0	125	I	Nidera
M5917	5.9	123	I	Monsoy
M5947	5.9	124	I	Ross
VCU Produtividade				
1	7.8	129	I	UFLA- Programa de Seleção Recorrente Produtividade
2	7.8	128	I	UFLA- Programa de Seleção Recorrente Produtividade
3	7.8	129	I	UFLA- Programa de Seleção Recorrente Produtividade
5	7.8	129	I	UFLA- Programa de Seleção Recorrente Produtividade
10	7.8	129	I	UFLA- Programa de Seleção Recorrente Produtividade
73	8.4	142	SD	UFLA- Programa de Melhoramento
85	8.3	140	I	UFLA- Programa de Melhoramento
97	8.3	140	I	UFLA- Programa de Melhoramento
98	8.4	141	SD	UFLA- Programa de Melhoramento
139	8.4	142	SD	UFLA- Programa de Melhoramento
CZ 48B32 IPRO	8.3	140	D	BASF
P98Y30	8.3	140	SD	Pioneer
P98Y12	8.1	135	SD	Pioneer
P98Y11	8.1	134	D	Pioneer
TMG2185	8.5	143	D	TMG
M8210	8.2	137	I	Monsoy

I=Indeterminado; D=Determinado; SD=Semi determinado.

Fonte: Do Autor (2021).

### **3.3 Análises em laboratório**

Os testes de qualidade fisiológica da semente (teste de germinação, teste de comprimento de plântulas e teste de emergência sob condições controladas) foram realizados no Laboratório de Análise de sementes da UFLA (LAS-UFLA) no Departamento de Agricultura- DAG/ /UFLA.

#### **3.3.1 Teste de germinação**

Foi realizado o teste padrão de germinação com quatro repetições de 50 sementes, em papel germitest, umedecido com água destilada, em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos foram colocados em germinador a 25°C. As avaliações foram realizadas aos cinco dias após a semeadura, e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

#### **3.3.2 Teste de comprimento de plântulas**

Para o teste de comprimento de plântulas, foram utilizadas quatro repetições de 10 sementes em papel germitest, umedecido com água destilada, em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco e as sementes de soja foram posicionadas de forma que a micrópila estivesse voltada para a parte inferior do papel. Os rolos foram colocados em germinador a 25°C. As avaliações foram realizadas aos sete dias após a semeadura, onde foram mensurados os comprimentos de radícula e hipocótilo (parte aérea), utilizando-se uma régua. Os resultados médios por plântulas foram expressos em centímetros, com base nos procedimentos descritos por NAKAGAWA (1999) adaptado de AOSA (1983).

#### **3.3.3 Teste de emergência sob condições controladas**

A semeadura foi realizada em substrato solo + areia na proporção 2:1, umedecido a 60% da capacidade de retenção. Foram realizadas quatro repetições de 25 sementes por tratamento. Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em câmara de crescimento vegetal à temperatura de 25° C, com irrigações subsequentes uniformes de acordo com a necessidade. A partir da

emergência da primeira plântula (cotilédone totalmente fora do substrato) foi computado o número de plântulas emergidas até a estabilização, com contagem final aos 14 dias após a semeadura. Foi considerada a porcentagem média final de emergência para definição do valor de porcentagem de emergência (PE).

### 3.4 Análise estatística dos dados fenotípicos

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software livre R (R CORE TEAM, 2021). Em um primeiro momento, realizou-se a análise de variância individual para cada um dos ambientes, para os dois experimentos VCU precocidade e VCU produtividade, adotando o delineamento inteiramente casualizados (DIC) para os testes de germinação, emergência e comprimento de plântulas, conforme modelo estatístico apresentado abaixo:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Em que:

- $y_{ij}$  é o valor observado na  $j$ -ésima repetição da  $i$ -ésima tratamento;
- $\mu$  é uma média geral associada a todas as observações;
- $\tau_i$  é o efeito fixo da  $i$ -ésima linhagem;
- $\epsilon_{ij}$  é o erro experimental devido ao acaso.

Posteriormente, realizou-se a análise conjunta envolvendo: (a) os dois ambientes da safra 2018/2019 e os três ambientes da safra 2019/2020 para o experimento VCU produtividade; (b) os três ambientes da safra 2019/2020 para o experimento VCU precocidade. Para as duas análises conjuntas considerou-se o modelo:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + a_k + (\tau a)_{ik} +$$

Em que:

- $y_{ijk}$  é o valor observado na  $j$ -ésima repetição da  $i$ -ésima linhagem do  $k$ -ésimo ambiente;
- $\mu$  é uma média geral associada a todas as observações;
- $\tau_i$  é o efeito fixo da  $i$ -ésima linhagem;
- $a_k$  é o efeito fixo do  $k$ -ésimo ambiente;

- $(\tau a)_{ik}$  é o efeito fixo da interação da  $i$ -ésima linhagem no  $k$ -ésimo ambiente;
- $\epsilon_{ik}$  é o erro experimental devido ao acaso.

### 3.5 Estimativas dos componentes genéticos e fenotípicos

Foram estimados os componentes quadrático genotípico (CQ<sub>G</sub>), o componente de variação ambiental (CV<sub>A</sub>), o componente de variação da interação genótipos por ambiente (CV<sub>GXA</sub>), o coeficiente de determinação genética (CD<sub>G</sub>), coeficiente de variação (CV%), ganho de antecipação de colheita em dias (GC dias) e ganho de antecipação de colheita em percentagem (GC %).

O coeficiente de determinação genotípica (CD<sub>G</sub>) em nível de genótipos foi obtido de acordo com o estimador proposto por CRUZ; REGAZZI (1997):

$$CDg = \frac{CQg}{CQg + \frac{t}{t-1} (1|a) CVgxa + \frac{CVa}{a}}$$

sendo:

$CQg$ : estimador do componente quadrático genotípico;

$CVgxa$ : estimador da variância da interação G x A;

$CVa$  : estimador da variância ambiental;

$t$  : número de tratamentos;

$a$ : número de ambientes.

Neste trabalho a precisão experimental foi aferida através do coeficiente de variação (CV%) que foi obtido de acordo com o estimador:

$$CV(\%) = \frac{\sqrt{CVa}}{m} * 100$$

sendo:

$CVa$  : estimador da variância ambiental;

$m$ : média fenotípica geral.

O ganho estimado com a colheita antecipada em dias (GC dias) foi obtido de acordo com o estimador:

$$GC (dias) = DCR8 - DCR6$$

$$GC (dias) = DCR8 - DCR7$$

sendo:

$DCR6$ : data de colheita em R6;

$DCR7$ : data de colheita em R7;

$DCR8$ : data de colheita em R8.

Por seu turno, o ganho estimado com a colheita antecipada em percentagem (GC%) foi obtido de acordo com o estimador:

$$GC (\%) = \left[ \frac{\sum ma}{t} * \left( \frac{1}{ma - GC (dias)} \right) * 100 \right] - 100$$

sendo:

$ma$ : maturação absoluta do genótipo;

$t$ : número de tratamentos;

$GC (dias)$ : ganho estimado com a colheita antecipada em dias.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para as análises individuais estão apresentadas nas Tabelas 1A, 2A, 3A, 4A, 5A dos anexos. Observa-se grande variação nas magnitudes das estimativas dos parâmetros para as características avaliadas. Um experimento para ser considerado de qualidade e se obter estimativas fidedignas, é necessário que seja conduzido com alta precisão (CARGNELUTTI FILHO et al., 2012). Nesse trabalho, a precisão experimental foi aferida pelo coeficiente de variação (CV%).

O coeficiente de variação é comumente utilizado para se verificar a precisão experimental de experimentos agrícolas. Neste contexto, relatos na literatura reportam que CV% inferior a 10% é um indicativo de ótima qualidade experimental. Por sua vez, um experimento é considerado de boa qualidade, quando apresenta CV% entre 10 e 20%, regular de 20 a 30% e ruim ou baixa qualidade, quando a estimativa do coeficiente de variação for maior do que 30% (PIMENTEL, 2009).

Nas análises individuais o coeficiente de variação (CV%) observado para maioria das características avaliadas nos estádios R7 e R8 foi de ótima qualidade, abaixo de 10%, e de boa qualidade, entre 10% e 20%, para maioria das características avaliadas no estádio R6 (TABELA 1A, 2A, 3A, 4A, 5A). O menor coeficiente de variação foi observado para germinação de sementes colhidas em R8, 2,38% (Lavras- precocidade 2019/2020). A maior estimativa foi para germinação de sementes colhidas em R8, 24,16% (Ijaci- produtividade 2018/2019) (Tabelas 3A e 5A).

O componente quadrático genotípico (CQ<sub>G</sub>) expressa a variabilidade genotípica existente ao trabalhar com efeito fixo (CRUZ, 2005). O componente quadrático associado aos genótipos (CQ<sub>G</sub>) foi significativo, para todas as características, em todos os ambientes avaliados, exceto para emergência de sementes colhidas em R7 (Ijaci- precocidade 2019/2020) e emergência de sementes colhidas em R8 (Nazareno e Lavras- precocidade 2019/2020) (TABELAS 1A, 2A e 3A). Estes resultados evidenciam que há variabilidade genética entre os genótipos para os caracteres avaliados.

Quando se obtêm estimativas dos componentes genéticos e fenotípicos utilizando apenas análises individuais os mesmos podem estar super ou sub estimados devido ao componente da interação genótipos por ambientes - G x A. Neste contexto é oportuno realizar a análise conjunta. Neste sentido, procedeu-se a análise conjunta dos ambientes (locais e anos agrícolas). De acordo com as análises de variância conjunta há diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ), no potencial fisiológico das sementes de soja imaturas (estádios R6 e R7) e maduras (R8), entre genótipos e entre ambientes, evidenciando que os genótipos diferem entre si bem como há efeito do ambiente de avaliação na manifestação fenotípica do caráter. A interação GxA foi significativa para todas as características (TABELA 2), demonstrando uma variação no comportamento de genótipos nos diferentes ambientes avaliados. Neste trabalho as médias foram melhores estimadas pois o efeito do genótipo foi isolado, livres da interação GxA.

Nas análises conjunta o coeficiente de variação (CV%) observado para maioria dos caracteres avaliados nos estádios R7 e R8 foi de ótima qualidade, abaixo de 10%, e de boa qualidade, entre 10% e 20%, para maioria dos caracteres avaliados no estágio R6, com exceção para dois parâmetros (CRA e CPA) no estágio R7 do experimento precocidade, que obteve o coeficiente de variação acima de 30%, sendo considerado assim de baixa qualidade experimental. O coeficiente de variação (CV%) de menor magnitude foi obtido para o caráter emergência de plântulas de sementes colhidas em R8, 3,9%. Por seu turno, o de maior magnitude foi observado para o comprimento da parte aérea de plântulas de sementes colhidas em R7, 38,56% (TABELA 2).

MALOSETTI et al. (2016) comentam que a interação genótipos x ambientes pode ser atribuída a fatores ambientais previsíveis e imprevisíveis. No presente estudo como se dispõe de avaliações de genótipos não somente em locais diferentes, como também anos agrícolas, ambos os fatores mencionados anteriormente influenciam na magnitude da interação. Considerando os dados climatológicos durante o período de produção das sementes nos experimentos de campo é possível observar que existem diferenças sobretudo devido a precipitação média como também temperatura. A faixa de necessidade hídrica para que a cultura da soja complete seu ciclo fisiológico varia de 450 a 800 mm (EMBRAPA, 2013). No ano agrícola 2019/2020 observou-se elevada precipitação próximo ao final do ciclo da cultura, chegando a 600 mm somente no mês de fevereiro, em todos os ambientes que foram conduzidos os experimentos (FIGURA 1A).

Tabela 2- Resumo da análise de variância conjunta (prob > Fc) de dados de porcentagem de emergência (PE), porcentagem de germinação (PG), comprimento de radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R6, R7 e R8 de genótipos de soja do experimento VCU precocidade, nas cidades de Ijaci, Lavras e Nazareno na safra de 2019/2020 e VCU produtividade, nas cidades de Ijaci e Iutinga nas safras 2018/2019 e 2019/2020 e Nazareno na safra 2019/2020 no estado de Minas Gerais/Brasil.

Parâmetros	GL	prob > Fc											
		R6				R7				R8			
		PE	PG	CR	CA	PE	PG	CR	CA	PE	PG	CR	CA
VCU precocidade													
Genótipos (G)	15	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	ns	**
Ambientes (A)	2	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**
GxA	28	**	**	**	**	*	**	**	**	*	**	**	**
Residual	138	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média geral		73,95	32,39	4,93	4,83	93,45	68,77	12,02	10,14	96,86	95,12	15,48	10,91
CV (%)		17,73	19,23	17,98	11,55	6,79	8,39	36,88	38,56	3,9	3,14	25,53	5,66
VCU produtividade													
Genótipos (G)	15	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Ambientes (A)	4	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
GxA	58	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Residual	234	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média geral		74,32	44,18	7,89	7,01	88	60,29	10,82	8,52	88,45	62,42	12,54	7,9
CV (%)		13,17	14,51	13,55	12,24	6,45	9,67	10,07	9,16	6,38	6,4	8,55	8,76

\*\* significativo a 1%, \* significativo a 5%, (ns) não significativo de acordo com o teste F.

Fonte: Do Autor (2021).

Os genótipos precoces apresentaram média de emergência de 73,95% em R6. Pode-se observar que as plantas apresentaram uma boa taxa de emergência utilizando sementes imaturas. Em relação a germinação foi observada uma baixa taxa nas sementes imaturas. Para os genótipos precoces esta foi de 32,39% em R6. Por seu turno, os genótipos mais tardios (produtivos) apresentaram 44,18% em R6 (TABELA 2). As menores taxas de germinação pode estar relacionada a proliferação de fungos, devido ao alto teor de água encontrado nas sementes imaturas (TABELA 2). JAHNE et al. (2020) também obtiveram uma baixa taxa de germinação colhendo sementes imaturas de soja, desenvolvida em ambiente controlado e com câmaras de LEDs. A germinação média no estágio fenológico R5.3 (aos 56 dias após a semeadura) foi de 50%. A mesma aumentou para 90% no estágio R5.6 (aos 77 dias após a semeadura). Mesmo apresentando taxas de germinação inferiores em colheita antecipada, é possível obter plântulas em quantidades suficientes para o avanço das gerações, o que na prática viabiliza a colheita antecipada para fins de melhoramento antecipado.

Em relação ao comprimento da radícula foi observado uma crescente nas médias de R6 para R8, fato este observado nos genótipos precoces e tardios. O comprimento da parte aérea das plântulas (hipocótilo) dos genótipos precoces, aumentou de R6 para R8, com menor média em R6, 4,83 cm, e maior em R8, 10,91 cm. Por seu turno, o comprimento da parte aérea de genótipos tardios apresentaram comportamento semelhante em todos os estádios, com 7,01 cm em R6, 8,52 cm em R7 e 7,9 cm em R8 (TABELA 2). Isso deve ter acontecido pois sementes imaturas tem menos reservas acumuladas nos cotilédones, e portanto menos reservas disponíveis aos embriões quando estão em desenvolvimento para formar as plântulas. Neste trabalho foram obtidas médias superiores de comprimento da radícula e comprimento da parte aérea (hipocótilo) no estágio R8 às obtidas por MONTEIRO (2018) trabalhando com sementes de soja em diferentes ambientes em Minas Gerais.

Pode-se verificar que as plantas oriundas de sementes imaturas dos estádios R6 e R7 apresentaram bom desenvolvimento em condições de câmara de crescimento à temperatura de 25° C, com 12h de luz e 12h de escuro, em bandejas com substrato solo + areia na proporção 2:1, umedecido a 60% da capacidade de retenção.

Em estudo realizado por Monteiro (2018) foi possível observar que a resposta correlacionada denota que genótipos mais produtivos apresentam melhor qualidade fisiológica de sementes em soja. Essa afirmativa está de acordo com as médias obtidas neste trabalho para as sementes colhidas em R6. Verifica-se que os genótipos produtivos obtiveram maiores taxas para todos os atributos avaliados de qualidade fisiológica da semente em relação aos genótipos precoces. No entanto, o oposto é observado para as sementes em R7 e R8 (TABELA 2). Uma possível explicação para essa resposta nos estádios mais avançados de maturação, pode ser

atribuído ao elevado volume de chuvas nos últimos estádios da soja na safra 2019/2020. O principal fator ambiental que está associado à redução do potencial de germinação é a ocorrência de chuvas durante a colheita. O incremento na umidade permite que as sementes se deteriorem mais facilmente como também incrementa o potencial de ocorrência de patógenos nas sementes (ZAMBIAZZI et al., 2017).

Observou-se que os componentes de interação genótipo por ambiente ( $CV_{G \times A}$ ) foram de alta magnitude, principalmente, para os atributos de emergência e germinação, de sementes imaturas. Por outro lado, de baixa magnitude para os caracteres de comprimento da radícula e da parte aérea da planta (TABELA 3). MONTEIRO (2018) obteve estimativas semelhantes as encontradas neste trabalho. No entanto, é importante enfatizar que em seu estudo foram utilizadas apenas sementes de soja colhidas em estágio de maturação absoluta (R8).

As estimativas dos componentes quadráticos genotípicos ( $CQ_G$ ) dos experimentos foram inferiores aos componentes de variância da interação  $G \times A$  ( $CV_{G \times A}$ ) e a variância ambiental ( $CV_A$ ) para todas as características avaliadas (TABELA 3). Indicando que a variação observada para esses parâmetros, na maioria das vezes, foi devido a efeitos ambientais. A interação genótipos x ambientes na cultura da soja é frequentemente reportada na literatura, sobretudo para características morfoagronômicas (AMARAL et al., 2019; CARNEIRO et al., 2019; GESTEIRA et al., 2018; MONTEIRO, 2018; ZAMBIAZZI et al., 2017; SOARES et al., 2015; SILVA et al., 2015). Neste estudo a interação já era esperada, pois os genótipos foram avaliados em diferentes ambientes (locais e anos agrícolas). Em regiões de clima tropical de altitude é comum ocorrerem diferenças na fertilidade do solo, temperatura, chuva e outros fatores (MALOSETTI, et al., 2016).

O coeficiente de determinação genotípica ( $CD_G\%$ ) é um parâmetro relacionado à herdabilidade e sua maior importância está ligada a sua função preditiva (RAMALHO et al., 2012). As estimativas do coeficiente de determinação genotípica ( $CD_G\%$ ) corroboram com estimativas observadas para componentes quadrático genotípico ( $CQ_G$ ), uma vez que as estimativas obtidas foram de baixa para média de magnitude, variando de 8,09 a 65,66% (TABELA 3). Todas as variações nessas características, isto é, aproximadamente metade destas, são de origem genética e a outra parte, possivelmente, relacionadas a efeitos ambientais ou desvios experimentais. Estes resultados do coeficiente de determinação do genótipo ( $CD_G\%$ ) permitem inferir que as características relacionadas à qualidade das sementes são em grande parte influenciadas por fatores ambientais. Corroborando assim, com os relatos reportados por ZAMBIAZZI et al. (2017) em avaliação de qualidade de sementes de soja em diferentes ambientes do Sul de Minas Gerais.

Tabela 3- Estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para as variáveis de emergência (PE), germinação (PG), comprimento de radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R6, R7 e R8 de genótipos de soja do experimento VCU precocidade, nas cidades de Ijaci, Lavras e Nazareno na safra de 2019/2020 e VCU produtividade, nas cidades de Ijaci e Itutinga nas safras 2018/2019 e 2019/2020 e Nazareno na safra 2019/2020, no estado de Minas Gerais/Brasil.

Parâmetros	R6				R7				R8			
	PE	PG	CR	CA	PE	PG	CR	CA	PE	PG	CR	CA
VCU precocidade												
CQ <sub>G</sub>	33,78	96,04	0,82	0,45	5,84	100,79	1,32	0,73	0,99	9	1,05	0,27
CV <sub>A</sub>	56,94	33,14	1,14	0,22	3,41	2,72	0,47	0,21	0,35	5,5	0,003	0,25
CV <sub>GxA</sub>	204,92	224,2	2,31	1,36	8,66	449,5	5,68	4,52	2,56	8,36	1,53	1,96
CV <sub>R</sub>	172,11	38,8	0,78	0,31	40,34	33,33	1,96	1,52	14,3	8,95	1,56	0,38
CD <sub>G</sub> (%)	26,7	51,14	40,36	44,43	57,85	38,25	37,48	30,08	48,81	65,02	65,55	25,5
VCU produtividade												
CQ <sub>G</sub>	88,45	152,07	2,09	0,95	46,87	97,58	3,23	1,05	18,3	14,5	0,97	0,55
CV <sub>A</sub>	62,38	146,14	1,67	0,74	24,77	796,27	2,87	7,33	40,78	775,64	9,66	7,67
CV <sub>GxA</sub>	401,47	283,57	3,78	1,63	113,18	366,94	6,25	3,25	88,4	45,35	1,72	1,16
CV <sub>R</sub>	95,86	41,05	1,14	0,73	32,25	34,22	1,18	0,6	31,94	15,5	1,15	0,48
CD <sub>G</sub> (%)	47,34	62,84	64,65	65,66	61,63	29,1	62,82	32,7	40,33	8,09	29,66	23,58

CQ<sub>G</sub>- Componente quadrático genotípico; CV<sub>A</sub>- Componente de variação ambiental; CV<sub>GxA</sub>- Componente de variação GXA; CV<sub>R</sub>- Componente de variação do resíduo; CD<sub>G</sub>- Componente de determinação genotípica.

Fonte: Do Autor (2021).

Observou-se que os genótipos precoces que demonstraram melhor desempenho para a maioria dos caracteres avaliados foram o 4, 28, 31, 33 e a testemunha M5947. Os genótipos produtivos que demonstraram melhor desempenho para a maioria dos caracteres foi o 2 e a testemunha CZ 48B32 IPRO. Analisando apenas as sementes imaturas (R6, R7) a emergência de plantas em bandeja obteve um melhor desempenho, quando comparada com a germinação em papel germitest (TABELA 4). Por essas sementes apresentarem maior teor de água, possivelmente estas foram mais propensas a ataques de fungos, o que diminuiu o potencial de germinação em papel germitest. Estes mesmos comentários foram observados por ZAMBIAZZI et al. (2017) e corroboram os achados obtidos neste estudo.

Os fungos são os principais patógenos associados às sementes de soja (SANTOS et al., 2016). Estes podem provocar a redução na germinação e vigor, originando focos primários de doenças (DANIELLI et al., 2011). Em sementes de soja recém colhidas na região do Sul de Minas Gerais as principais classes de fungos encontradas em avaliação foram *Cercospora kikuchii*, *Fusarium* e *Alternaria* (ZAMBIAZZI et al., 2017). Os patógenos encontrados nas sementes de soja são os de maior ocorrência no Brasil e também de maior importância, podendo causar perdas significativas na produção e redução na qualidade de sementes (DANIELLI et al., 2011).

Em relação ao comprimento da radícula e comprimento da parte aérea de plantas os genótipos produtivos apresentaram maior variação e maior comprimento em relação aos genótipos precoces (TABELA 4). Considerando que normalmente os protocolos de melhoramento acelerado utilizam câmaras de crescimento com ambiente controlado, em que o espaço é um fator limitante, objetiva-se obter plantas com menor comprimento da parte aérea (hipocótilo) e que sejam mais uniformes. Os genótipos precoces foram os que apresentaram melhor essas características desejáveis (TABELA 4). Esses resultados corroboram com o comportamento desses genótipos no campo. Os genótipos precoces possuem menor estatura, são mais compactos, e geralmente, menos produtivos, quando comparados com genótipos tardios (produtivos) (SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015).

Tabela 4 - Valores médios de porcentagem de emergência (PE), porcentagem de germinação (PG), comprimento de radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R6, R7 e R8 de genótipos de soja do experimento VCU precocidade, nas cidades de Ijaci, Lavras e Nazareno na safra de 2019/2020, e VCU produtividade, nas cidades de Ijaci e Itutinga nas safras 2018/2019 e 2019/2020 e Nazareno na safra 2019/2020.

Genótipos	R6				R7				R8															
	PE	PG	CR	CA	PE	PG	CR	CA	PE	PG	CR	CA												
VCU precocidade																								
1	73,00	b	28,67	d	3,05	d	3,90	c	90,67	b	55,75	f	12,51	b	9,14	c	97,67	a	96,00	a	14,74	b	11,13	b
2	87,67	a	28,83	d	4,37	c	5,15	b	85,83	b	53,33	f	12,18	b	9,77	b	97,00	a	95,67	a	14,77	b	11,21	b
4	81,67	a	39,83	b	6,49	a	5,13	b	95,33	a	58,00	e	12,77	b	11,71	a	95,50	a	97,67	a	16,05	a	11,03	b
5	66,33	b	20,17	e	3,79	d	3,48	d	92,67	b	61,17	e	11,21	c	10,05	b	97,50	a	97,33	a	14,90	b	10,96	b
6	66,17	b	15,83	f	3,69	d	4,13	c	94,00	a	68,83	d	14,26	a	10,94	a	97,00	a	97,00	a	15,07	b	10,51	c
27	81,00	a	25,83	d	4,33	c	4,35	c	96,17	a	81,17	b	13,33	b	10,55	a	97,83	a	97,67	a	16,70	a	11,01	b
28	71,33	b	47,33	a	5,39	b	5,12	b	98,00	a	81,33	b	13,14	b	10,94	a	97,17	a	96,83	a	16,28	a	11,63	a
31	73,33	b	26,00	d	5,40	b	5,42	a	95,33	a	68,17	d	11,71	c	10,33	a	97,75	a	97,75	a	16,60	a	11,86	a
33	79,50	a	32,00	c	4,69	c	5,01	b	96,67	a	78,50	b	11,28	c	10,21	a	97,17	a	96,50	a	16,36	a	11,61	a
45	71,33	b	26,67	d	5,26	b	5,26	b	94,33	a	74,50	c	11,10	c	9,14	c	98,83	a	93,17	b	15,11	b	11,21	b
ANTA 82	72,00	b	51,17	a	6,09	a	5,60	a	92,33	b	88,00	a	10,75	c	10,03	b	92,17	b	87,50	c	14,31	b	10,11	d
95R51	66,00	b	32,75	c	5,54	b	5,34	a	91,50	b	67,50	d	11,81	c	8,91	c	96,83	a	96,00	a	13,01	c	10,02	d
M6410	66,17	b	27,50	d	4,19	c	3,98	c	92,00	b	62,83	e	12,59	b	8,93	c	97,17	a	96,83	a	16,00	a	10,69	c
NS 7300	66,33	b	31,33	c	5,12	b	4,97	b	90,00	b	58,00	e	12,26	b	11,58	a	96,00	a	91,33	b	17,70	a	10,64	c
M5917	75,17	b	38,00	b	4,59	c	4,56	c	93,67	a	65,17	d	9,51	d	8,89	c	98,00	a	89,33	c	15,34	b	9,99	d
M5947	83,33	a	46,50	a	6,31	a	5,90	a	96,17	a	69,83	d	12,69	b	10,88	a	96,50	a	96,33	a	16,03	a	11,27	b
VCU produtividade																								
1	69,00	b	53,00	b	9,12	c	7,11	c	95,30	a	78,10	a	13,54	a	9,88	a	79,80	d	62,50	c	13,13	a	8,44	a
2	85,33	a	69,83	a	11,55	a	8,94	a	95,40	a	75,10	a	13,98	a	10,25	a	88,20	b	61,90	c	12,93	a	8,52	a
3	60,33	c	41,33	c	7,22	e	8,30	b	92,13	a	45,90	e	8,38	c	5,53	d	89,40	b	65,10	b	11,21	c	8,75	a
5	80,67	a	59,33	b	9,88	b	7,93	b	97,00	a	42,13	e	8,83	c	5,30	d	80,90	d	62,90	b	12,97	a	8,44	a
10	86,00	a	54,67	b	9,07	c	6,35	c	96,00	a	64,90	b	10,52	b	7,23	c	83,95	c	62,20	c	13,53	a	8,57	a
73	86,67	a	42,83	c	8,08	d	8,39	b	86,60	b	51,50	d	9,35	b	6,49	d	86,30	c	57,30	d	13,30	a	8,46	a
85	69,00	b	33,33	d	7,69	d	6,99	c	81,30	c	67,38	b	10,08	b	8,23	b	90,40	b	59,40	d	12,08	b	7,58	b
97	67,00	b	32,33	d	6,91	e	5,56	d	84,10	c	76,67	a	10,37	b	9,03	b	92,40	a	56,30	d	11,21	c	6,68	c
98	64,17	c	25,83	e	7,08	e	6,66	c	71,50	d	44,70	e	9,53	b	9,14	b	91,70	a	53,60	d	11,18	c	6,89	c
139	91,33	a	55,33	b	6,96	e	6,31	c	86,80	b	54,88	d	8,69	c	9,15	b	93,70	a	66,60	b	11,92	c	8,18	a
CZ 48B32 IPRO	91,33	a	66,50	a	11,67	a	8,89	a	87,17	b	70,17	a	12,30	a	10,49	a	92,17	a	94,33	a	16,37	a	9,42	a
P98Y30	82,67	a	52,00	b	8,59	c	7,13	c	93,14	a	54,80	d	10,12	b	7,69	c	91,50	a	58,20	d	13,03	a	7,05	c
P98Y12	72,67	b	42,60	c	6,14	e	5,45	d	94,20	a	60,30	c	8,65	c	7,39	c	95,10	a	58,20	d	10,97	c	6,50	c
P98Y11	63,50	c	22,00	e	4,80	f	5,92	d	87,60	b	49,88	e	9,76	b	7,72	c	86,20	c	62,40	c	11,04	c	7,55	b
TMG2185	35,83	d	28,00	e	7,25	e	7,86	b	78,75	d	51,13	d	8,85	c	7,29	c	90,30	b	62,70	c	12,21	b	8,21	a
M8210	59,00	c	14,00	f	5,45	f	4,83	e	84,70	c	61,63	c	11,75	a	7,13	c	84,70	c	68,00	b	12,12	b	7,29	b

Médias seguidas da mesma letra pertencem ao mesmo grupo, a 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott.

Fonte: Do Autor (2021).

O ganho estimado de antecipação de colheita em dias foi obtido para cada genótipo (precoce ou produtivo) em cada ambiente por safra, conforme as Figuras 2 e 3. O ganho em dias, indica qual o ganho obtido de cada genótipo pela antecipação da colheita em relação à maturação absoluta. O genótipo precoce da safra 2019/2020 que obteve maior ganho em média nos três ambientes foi a cultivar ANTA 82 RR com 25 dias. O ambiente que proporcionou maior ganho de antecipação de colheita para os genótipos foi Nazareno com média de 18 dias (FIGURA 2A).

Este ambiente possui maior altitude e temperaturas mais amenas quando comparado aos demais. De forma geral, em altas altitudes ocorrem temperaturas mais amenas. Por consonância, as cultivares apresentam alongamento do ciclo vegetativo, excessivo crescimento da planta, alongamento dos entrenós, abortamento de flores e vagens e maior acamamento de planta (SPADER, 2014). ARANTES (2019) observou que a temperatura afeta a maturação absoluta de maneira inversa, isto é, temperaturas elevadas reduzem o ciclo da cultura e temperaturas amenas aumentam o ciclo da cultura.

Os genótipos produtivos da safra 2019/2020 que obtiveram maiores ganhos em média nos três ambientes foram o P98Y30 e o P98Y11 com 24 dias. O ambiente que proporcionou maior ganho para os genótipos tardios também foi Nazareno, com média de 20 dias (FIGURA 2B). Os genótipos produtivos da safra 2018/2019 obtiveram a mesma média de ganho considerando os dois ambientes. O ambiente que proporcionou maior ganho para os genótipos foi Ijaci, com média de 17 dias (FIGURA 3).

O ganho com antecipação da colheita variou de acordo com o grupo de maturidade. Os genótipos precoces obtiveram um ganho médio de 18 dias, enquanto que os genótipos tardios (produtivos) o ganho foi superior, em média de 20 dias. O ganho obtido neste trabalho foi superior ao obtido por WATSON et al. (2018) com sementes de trigo colhidas ainda imaturas. Estas foram secas em estufas por três dias. Quando comparada com o processo normal de maturação da semente houve um ganho de antecipação de 15 dias para essa cultura.

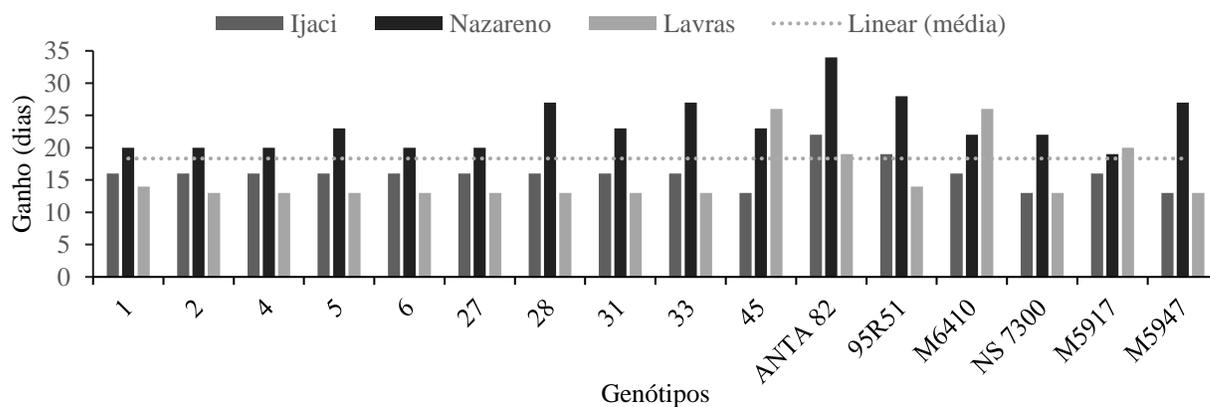
Portanto, pode-se inferir que o ganho de antecipação da colheita em dias foi mais expressivo em genótipos do experimento VCU produtividade. Uma possível explicação para isso deve-se ao fato de que esses genótipos possuem maior maturação absoluta, ou seja, passam mais tempo no campo e demoram mais para atingir a maturação absoluta, proporcionando maior espaço de tempo entre os estádios de maturação da planta, e conseqüentemente, maior ganho de dias quando se antecipa a colheita para estádios anteriores (SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015). Tornando essa

alternativa mais vantajosa para os genótipos que possuem maior número de dias para a maturação absoluta.

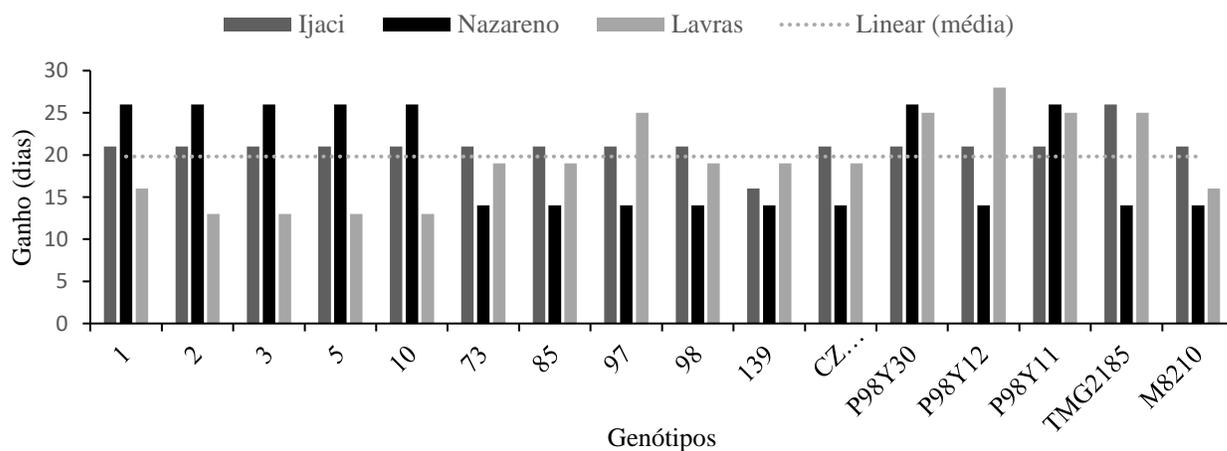
Os genótipos que apresentaram melhores atributos de qualidade de semente não coincidiram com os genótipos que obtiveram maiores ganhos com a antecipação da colheita em dias. Considerando esses dois fatores o genótipo P98Y30 merece destaque. Pois o mesmo, apresentou alto ganho de antecipação da colheita e possui altas taxas de emergência, germinação, comprimento de radícula e menores taxas de comprimento de hipocótilo (TABELA 4).

Figura 2- Ganho, em dias, de antecipação da colheita de sementes imaturas (estádio R6) de genótipos de soja do experimento VCU precocidade (A) e VCU produtividade (B), nas cidades de Ijaci, Lavras e Nazareno na safra de 2019/2020.

(A)

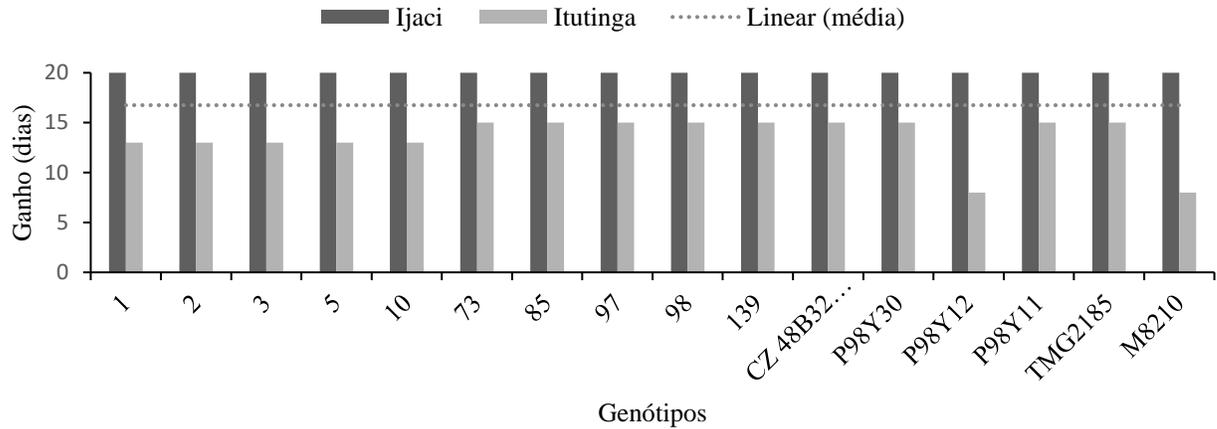


(B)



Fonte: Do Autor (2021).

Figura 3- Ganho, em dias, de antecipação da colheita de sementes imaturas (estádio R7) de genótipos de soja do experimento VCU produtividade, nas cidades de Ijaci e Itutinga na safra de 2018/2019.



Fonte: Do Autor (2021).

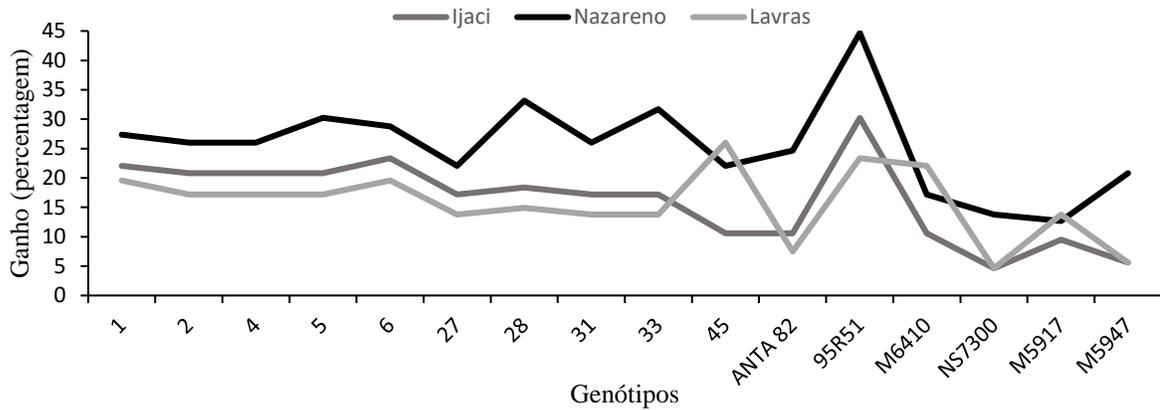
Para se ter uma melhor perspectiva em relação ao ganho de antecipação da colheita em relação à média geral do ciclo dos genótipos utilizados no experimento foi obtido um ganho em percentagem. O ganho estimado de antecipação da colheita em percentagem foi obtido para cada genótipo por ambiente e safra, conforme as Figuras 4 e 5. O ganho em percentagem indica quais genótipos obtiveram melhores ganhos de antecipação da colheita em relação à maturação absoluta média.

Os genótipos precoces que obtiveram maiores ganhos e foram mais estáveis em todos os ambientes foram as linhagens 1, 2, 4, 5, 6, com ganho de 17 a 30%. A testemunha P95R51, obteve ganho de 23 a 44%. O ganho em percentagem de cada genótipo variou conforme o ambiente. Em Nazareno os ganhos percentuais de antecipação da colheita foram maiores do que nos demais ambientes. Os genótipos precoces que obtiveram ganhos menores foram as testemunhas NS7300, M5917 e M5947, com ganho de antecipação de colheita abaixo de 15% (FIGURA 4A).

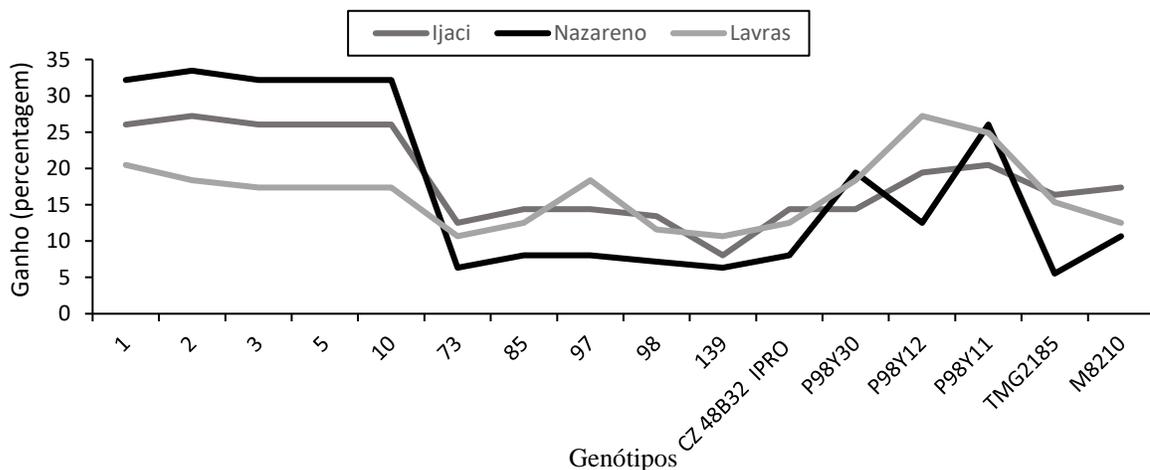
Por seu turno, os genótipos de produtividade da safra 2019/2020 que obtiveram maiores ganhos e foram mais estáveis em todos os ambientes foram as linhagens 1, 2, 3, 5, 10, com ganho de 17 a 33%. A testemunha P98Y11, obteve ganho de 20 a 26%. O ambiente Nazareno proporcionou maior ganho para os genótipos com menor ciclo, em comparação ao ambiente de Ijaci e Lavras. Os genótipos produtivos que obtiveram menores ganhos foram as linhagens 73, 85, 97, 98, 139 e a testemunha CZ 48B32 IPRO, com ganho de antecipação de colheita abaixo de 15% (FIGURA 4B).

Figura 4- Ganho, em porcentagem, de antecipação da colheita de sementes imaturas (estádio R6) de genótipos de soja do experimento VCU precocidade (A) e VCU produtividade (B), nas cidades de Ijaci, Lavras e Nazareno na safra de 2019/2020.

(A)



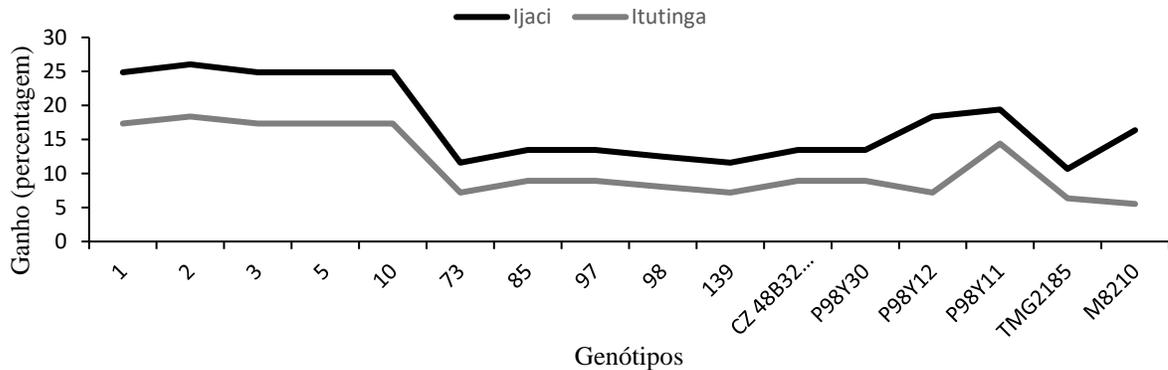
(B)



Fonte: Do Autor (2021).

Os genótipos de produtividade da safra 2018/2019 que obtiveram maiores ganhos foram os mesmo da safra 2019/2020, ou seja, as linhagens 1, 2, 3, 5, 10, com ganho de 17 a 26% e a testemunha P98Y11, com ganho de 14 a 19%. Deve-se enfatizar que, nessa safra o ganho de antecipação da colheita foi em relação ao estágio R7, por isso o ganho em porcentagem foi de menor magnitude do que em relação aos genótipos de produtividade da safra 2019/2020 que foi em relação ao estágio R6. Os genótipos produtividade da safra 2019/2020 que obtiveram menores ganhos de antecipação de colheita foram os mesmos genótipos da safra 2018/2019, ou seja, as linhagens 73, 85, 97, 98, 139 e a testemunha CZ 48B32 IPRO, com ganho de antecipação de colheita abaixo de 15% (FIGURA 5).

Figura 5- Ganho, em porcentagem, de antecipação da colheita de sementes imaturas (estádio R7) de genótipos de soja do experimento VCU produtividade, nas cidades de Ijaci e Itutinga na safra de 2018/2019.

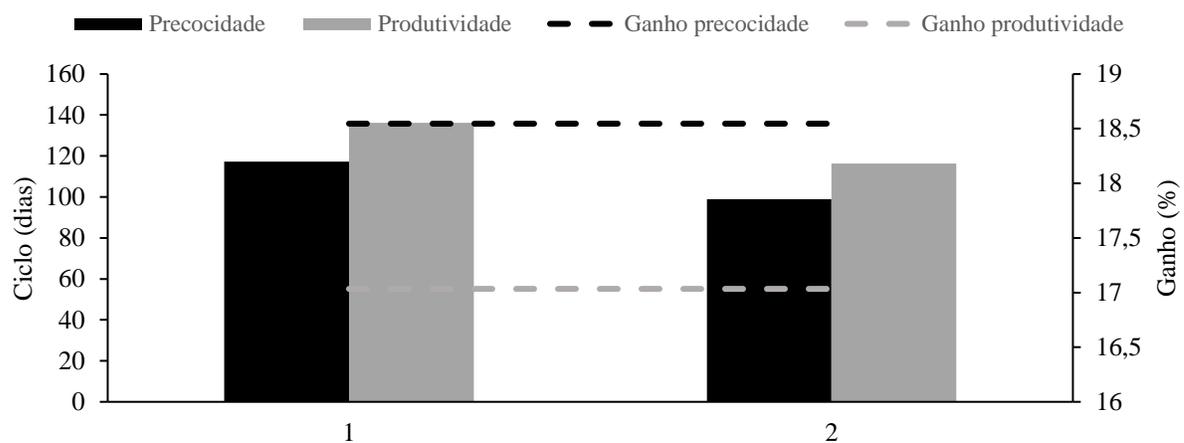


Fonte: Do Autor (2021).

O ciclo médio geral do experimento precocidade e do experimento produtividade estão apresentados na Figura 6. O experimento precocidade obteve um ciclo médio de 117 dias e o experimento produtividade de 136 dias em campo, da semeadura até a colheita após a planta atingir a maturidade absoluta (R8), em um ciclo normal. Em um ciclo acelerado o experimento precocidade obteve um ciclo médio de 98 dias e o experimento produtividade de 116 dias, da semeadura até a colheita de sementes imaturas em R6.

O ganho de redução do ciclo para o experimento precocidade e para o experimento produtividade está apresentado na Figura 6. O ganho médio de antecipação da colheita foi de 18,5% para o experimento precocidade e de 17% para o experimento produtividade. Considerando que o ganho de antecipação de colheita foram diferentes para o experimento precocidade e produtividade, assim como o ciclo acelerado de cada geração, infere-se que pode-se obter até quatro gerações por ano de soja utilizando genótipos precoces, e até tres gerações por ano utilizando genótipos tardios. Vale ressaltar, que esses resultados foram obtidos em condições de campo, na região dos Campos das Vertendes em Minas Gerais, que possui características de clima tropical de altitude, podendo esses resultados variarem considerando condições climáticas distintas. No trabalho de JAHNE et al. (2020) sugere-se realizar até cinco gerações por ano de soja, em câmara de crescimento com diferentes comprimento de luz de LEDs e alta intensidade de luz.

Figura 6- Ciclo médio geral do experimento precocidade e do experimento produtividade no campo sem colheita antecipada (1) e com colheita antecipada (2) e seus respectivos ganhos de redução de ciclo.



Fonte: Do Autor (2021).

## 5 CONCLUSÕES

As plantas oriundas de sementes imaturas dos estádios R6 e R7 apresentaram bom desenvolvimento em condições de câmara de crescimento à temperatura de 25° C, com 12h de luz e 12h de escuro, em bandejas com substrato solo + areia na proporção 2:1, umedecido a 60% da capacidade de retenção.

As estimativas de componente quadrático genotípico ( $CQ_G$ ) e o coeficiente de determinação genotípica ( $CD_G\%$ ) foram de baixa a média magnitude, denotando que as características relacionadas à qualidade das sementes são em grande parte, influenciadas por fatores ambientais.

Os genótipos precoces obtiveram um ganho médio de 18 dias e redução em 18,5% no ciclo, e os genótipos tardios de 20 dias e redução de 17% no ciclo médio.

A colheita antecipada em R6 pode ser empregada em programas de melhoramento de soja possibilitando assim a condução de até quatro gerações de endogamia por ano para os genótipos precoces e três gerações por ano para genótipos tardios.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS-ANP. **Boletim mensal do biodiesel**. 2017
- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- AMARAL, L. O. ; BRUZI, A. T. ; REZENDE, P.M. ; SILVA, K.B. Pure line selection in a heterogeneous soybean cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, p. 277-284, 2019.
- AOSA. Association of Official Seed Analysts. **Seed vigor testing handbook**. East Lansing, AOSA, n. 32, 1983. 88p.
- ARANTES, P.S. **Fatores climáticos e suas implicações na maturação absoluta em soja**. Monografia-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2019.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS EXPORTADORES DE CEREAIS- ANEC. **Estatísticas semanais do farelo de soja**. 2019
- BONETTI, L.P. Distribuição da soja no mundo. In: Miyasaka, S e Medina, J.C. **A soja no Brasil**. Campinas. 1981. p. 1-16.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 6 ed., Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 529p.
- BORÉM, A. Melhoramento da Soja. In: Sedyama, T.; Teixeira, R. C.; Reis, M. S. Borém, A. (eds.). **Melhoramento de Espécies Cultivadas**. ed. Viçosa: UFV, p.487-533, 1999.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Ed. Mapa/ACS, 2009. 399p.
- BUENO, L. C. S; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. **Melhoramento Genético de Plantas – Princípios e procedimentos**. 1 ed., Lavras, MG: Ed. UFLA, 2006. 319p.
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Medidas de precisão experimental e número de repetições em ensaios de genótipos de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 3, p. 336-343, mar. 2012.
- CARNEIRO, ALINE KÖHN ; Bruzi, Adriano Teodoro ; PEREIRA, JOSÉ LUIZ DE ANDRADE REZENDE ; ZAMBIAZZI, EVERTON VINICIUS . Stability analysis of pure lines and a multiline of soybean in different locations. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, p. 395-401, 2019.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 8 - Safra 2020/21, n. 7 - Nono levantamento, abril 2021.
- CRUZ, C. D. **Princípios de genética quantitativa**. 22. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2005. 394 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Editora – UFV. Viçosa - MG, 1997. 390p.

DANELLI, A. L. et al. Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de soja em função do tratamento químico de sementes e foliar no campo. **Revista Ciência y Tecnologia**, v. 4, n. 2, p. 29-37, 2011.

DE LA FUENTE, G. N., FREI, U. K. & LUBBERSTEDT, T. Accelerating plant breeding. **Trends Plant Sci.** p.667-672. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Ecofisiologia da soja**. In: Circular Técnica 48. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja, Região Central do Brasil 2014. Embrapa Soja, Londrina. **Sistemas de Produção**, n.16, 1. ed., 265 p. 2013.

FEHR, W.R; CAVINESS, C.E. **Stage of soybean development**. Iowa State University. Special report 80, March, 1977. p. 25-26.

GESTEIRA, GABRIEL DE SIQUEIRA ; **Bruzi, Adriano Teodoro** ; ZITO, ROBERTO KAZUHIKO ; FRONZA, VANOLI ; ARANTES, NEYLSON EUSTÁQUIO . Selection of Early Soybean Inbred Lines Using Multiple Indices. **CROP SCIENCE**, v. 58, p. 2494, 2018.

GHOSH et al. Speed breeding in growth chambers and glasshouse for crop breeding and model plant research. **Nature protocols**. 2018

HICKEY, L.T et al. Breeding crops to feed 10 billion. **Nature biotechnology**. p. 744-756. 2019.

HIMOWITZ, T.; SINGH, R.I. Taxonomy and speciation. In: Wilcox, J.R. **Soybeans: improvement, production and uses**. Madson: American Society of Agronomy, p.41-46, 1987.

JANHE et al. Speed breeding short-day crops by LED-controlled light schemes. **Theoretical and Applied Genetics**, v.133, p.2335-2342, 2020.

LULSDORF, M.M e BANNIZA, S. Rapid generation cycling os an F<sub>2</sub> population derived from a cross between *Len culinaris Medik.* and *Lens ervoides (Brign.)* Grande after aphanomyces root rot selection. **Plant Breeding**. 2018.

MAGALHÃES, C.M. Introdução e evolução da soja no Brasil- No Estado do Rio Grande do Sul. In: Miyasaka, S e Medina. J.C. **A soja no Brasil**. Campinas, p.18-20, 1981.

MALOSETTI et al. Predicting responses in multiple environments: Issues in relation to genotype x environment interactions. **Crop Science**, v.56, p.2210-2222, 2016.

MONTEIRO, F. F. **Estimativade parâmetros genéticos e fenotípicos da qualidade de sementes de soja**. 2018. 54 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2018.

NAGATOSHI, Y; YASUNARI, F. Accelerating Soybean Breeding in a CO<sub>2</sub>- Supplemented Growth Chamber. **Plant e cell physiology**.2019.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES 1, p. 9-13, 1999.

OHNISHI, T.; YOSHINO, M; YAMAKAWA, H; KINOSHITA, T. The biotron breeding system: a rapid and reliable procedure for genetic studies and breeding in rice. **Plant Cell physiol**.52:1249-1257. 2011.

PALMER, R.G e KILEN, T.C. Quantitative genetics and cytogenetics. In: Wilcox, J.R. **Soybens: improvement, production and uses**. Madson: American Society of Agronomy, p.135-209, 1987. PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Ed. ESALQ, 2009. 451 p.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras, MG: Ed. UFLA, 2012. 522 p.

RITCHIE, S.W; HANWAY,J.J; THOMPSON, H.E; BENSON, G.O. **How a soybean plant develops**. Ames, Yowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension, 1977. 20p.

**R CORE TEAM**. R A language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2021.

SANTOS, J. et al. Avaliação da qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja produzidas no município de Frederico Westphalen/RS. **Revista de Ciências Agroveterinárias e Alimentos**, n. 1, 2016.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. Melhoramento da Soja. In: BOREM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Ed. UFV, p. 553 – 602, 2013.

SEDIYAMA, T., TEIXEIRA, R. D. C. & REIS., M. S. Melhoramento da soja. In: **Melhoramento de Espécies Cultivadas**. Viçosa - MG: UFV - Universidade Federal de Viçosa, pp. 487 - 533, 1999.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. (Ed.). **Soja do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. p. 27-53.

SILVA, K. B.; BRUZI, A. T.; ZUFFO, A. M.; ZAMBIAZZI, E. V.; SOARES, I. O.; REZENDE, P. M.; COELHO, M. D. O. Adaptability and phenotypic stability of soybean cultivars for grain yield and oil content. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 15, n. 2, 2015.

SOARES, I.O.; REZENDE, P.M. ; BRUZI, A.T. ; ZAMBIAZZI, E.V. ; ZUFFO, A.M. ; SILVA, K.B. ; GWINNER, R. . Adaptability of soybean cultivars in different crop years. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 14, p. 8995-9003, 2015.

SPADER, V. **Características de plantas de soja associadas com alta produtividade em condição de elevada altitude**. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2014.

TANAKA, J., HAYASHI, T. e IWATA, H. A practical, rapid generation-advancement system for rice breeding using simplified biotron breeding system. **Sci. Breed.** 2016. 542-551.

TOLED, J.F.F. et al. Genetic and Breeding. In: **Tropical Soybean improvement and production**. Rome: Plant Production Series n° 27. Food and Agriculture Organization of the United Nations. P.19-36, 1994.

VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. **Contribuições do melhoramento genético no brasil**. In: PATERNIANI, E. (Ed.). Ciência, Agricultura e Sociedade. 2006.

WATSON et al. Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. **Nature plants**. 2018.

ZAMBIAZZI, E.V.; BRUZI, A.T.; GUILHERME, S.R.; PEREIRA, D.R.; J.G. LIMA; ZUFFO, A.M.; RIBEIRO, F. O; MENDES, A.E.S.; GODINHO, S.H.M.; CARVALHO, M.L.M. Estimates of genetics and phenotypic parameters for the yield and quality of soybean seeds. **Genetics and molecular research**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 3, 2017.

## ANEXO A- TABELAS

Tabela 1A- Resumo da análise de variância individual (prob > Fc) e estimativas de parâmetros genéticos de dados de porcentagem de emergência (PE), porcentagem de germinação (PG), comprimento de radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R6, R7 e R8 de genótipos de soja dos experimentos VCU precocidade e VCU produtividade, na cidade de Ijaci-MG na safra de 2019/2020.

FV	GL	prob > Fc											
		R6				R7				R8			
		PE	PG	CR	CA	PE	PG	CR	CA	PE	PG	CR	CA
VCU precocidade													
Genótipos (G)	15	**	**	**	**	ns	**	**	**	*	**	**	**
Residual	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média geral		79,19	25,81	3,80	4,43	92,84	67,16	11,74	10,19	96,00	92,37	15,41	10,52
CV (%)		18,85	20,10	19,81	11,56	7,81	7,44	12,57	12,43	4,67	4,06	8,73	5,55
Parâmetros													
CQ <sub>G</sub>		140,43	421,97	3,73	0,79	1,09	484,01	7,50	5,43	8,98	34,25	2,38	1,29
CV <sub>A</sub>		196,16	428,70	3,88	0,86	14,22	490,26	8,05	5,83	14,00	37,77	2,84	1,38
CV <sub>R</sub>		222,92	26,92	0,57	0,26	52,52	24,98	2,18	1,60	20,09	14,07	1,81	0,34
VCU produtividade													
Genótipos (G)	15	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Residual	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média geral		75,31	47,61	8,08	7,75	90,9	80,37	11,18	10,28	89,4	89,75	13,28	9,91
CV (%)		12,37	14,31	12,66	12,83	6,5	5,19	8,98	6,18	7,45	4,79	8,15	7,6
Parâmetros													
CQ <sub>G</sub>		467,43	499,54	6,57	2,38	76,29	265,18	10,2	4,17	33,74	54,1	6,79	4
CV <sub>A</sub>		489,16	520,39	6,96	2,68	85,26	274,78	10,66	4,35	44,84	58,73	7,09	4,15
CV <sub>R</sub>		86,91	46,48	1,04	0,99	35,84	17,4	1,01	0,4	44,39	18,5	1,17	0,56

Tabela 2A - Resumo da análise de variância individual (prob > Fc) e estimativas de parâmetros genéticos de dados de porcentagem de emergência (PE), porcentagem de germinação (PG), comprimento de radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R6, R7 e R8 de genótipos de soja dos experimentos VCU precocidade e VCU produtividade, na cidade de Nazareno-MG na safra de 2019/2020.

FV	GL	prob > Fc											
		R6				R7				R8			
		E	G	CR	CA	E	G	CR	CA	E	G	CR	CA
VCU precocidade													
Genótipos (G)	15	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**
Residual	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média geral		65,56	35,53	5,63	5,30	95,77	70,68	11,47	9,59	97,03	96,03	15,37	11,46
CV (%)		19,69	20,40	13,73	11,82	4,21	6,66	11,21	12,10	4,07	2,91	8,53	5,07
Parâmetros													
CQG		236,08	129,44	1,45	1,90	8,61	328,14	3,31	2,57	0,00	5,20	1,10	1,23
CVA		277,73	142,58	1,60	2,00	12,67	333,68	3,73	2,91	3,68	7,15	1,53	1,32
CVR		166,58	52,56	0,60	0,39	16,24	22,17	1,65	1,35	15,56	7,81	1,72	0,34
VCU produtividade													
Genótipos (G)	15	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**
Residual	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média geral		81,47	53,81	9,07	6,08	94,27	77,43	13,00	9,75	91,34	92,00	15,01	9,35
CV (%)		11,60	12,25	12,00	13,10	4,82	5,71	7,47	8,29	6,06	4,31	7,71	9,03
Parâmetros													
CQG		157,76	426,06	3,98	0,42	6,77	368,24	12,40	4,56	17,47	5,73	1,73	0,86
CVA		180,08	436,93	4,28	0,58	11,92	373,14	12,64	4,72	25,12	9,67	2,07	1,04
CVR		89,27	43,46	1,18	0,63	20,62	19,58	0,94	0,65	30,60	15,75	1,34	0,71

Tabela 3A- Resumo da análise de variância individual (prob > Fc) e estimativas de parâmetros genéticos de dados de porcentagem de emergência (PE), porcentagem de germinação (PG), comprimento de radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R6, R7 e R8 de genótipos de soja dos experimentos VCU precocidade e VCU produtividade, na cidade de Lavras- MG na safra de 2019/2020.

FV	GL	prob > Fc											
		R6				R7				R8			
		PE	PG	CR	CA	PE	PG	CR	CA	PE	PG	CR	CA
VCU precocidade													
Genótipos (G)	15	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**
Residual	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média geral		77,57	36,07	5,46	4,75	91,91	68,63	12,76	10,55	97,50	96,81	15,68	10,71
CV (%)		14,14	16,82	20,77	10,97	7,75	10,36	11,10	12,00	2,83	2,38	6,96	6,34
Parâmetros													
CQG		98,63	164,94	1,24	1,05	24,35	357,15	3,03	2,12	0,00	5,07	2,56	1,91
CVA		277,73	142,58	1,60	2,00	12,67	333,68	3,73	2,91	3,68	7,15	1,53	1,32
CVR		120,38	36,80	1,29	0,27	50,77	52,70	2,01	1,60	7,63	5,29	1,19	0,46
VCU produtividade													
Genótipos (G)	15	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**
Residual	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média geral		65,67	30,30	6,55	7,28	84,88	70,04	10,31	10,09	96,72	93,13	15,02	10,05
CV (%)		16,15	18,91	16,64	10,71	7,25	10,34	13,24	9,49	2,93	4,62	7,57	6,93
Parâmetros													
CQG		606,27	399,82	7,20	5,09	193,61	360,60	7,58	3,47	2,07	6,83	0,96	1,16
CVA		634,38	408,03	7,50	5,24	203,09	373,71	8,05	3,70	4,07	11,45	1,29	1,28
CVR		112,44	32,82	1,19	0,61	37,92	52,45	1,86	0,92	8,01	18,50	1,29	0,49

Tabela 4A- Resumo da análise de variância individual (prob > Fc) e estimativas de parâmetros genéticos de dados de porcentagem de emergência (PE), porcentagem de germinação (PG), comprimento de radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R7 e R8 de genótipos de soja do experimento VCU produtividade, na cidade de Itutinga -MG na safra de 2018/2019.

FV	GL	prob > Fc							
		R7				R8			
		PE	PG	CR	CA	PE	PG	CR	CA
Genótipos (G)	15	**	**	**	**	**	**	**	**
Residual	48	-	-	-	-	-	-	-	-
Média geral		87,46	22,53	9,59	6,07	81,41	21,93	11,16	5,48
CV (%)		5,5	14,1	12,24	12,19	6,95	19,92	8,62	11,52
Parâmetros									
CQG		187,77	436,29	2,11	2,25	279,8	114,05	0,47	0,28
CVA		193,59	438,83	2,39	2,46	287,82	118,82	0,71	0,38
CVR		23,24	10,11	1,37	0,54	32,06	19,06	0,92	0,39

Tabela 5A- Resumo da análise de variância individual (prob > Fc) e estimativas de parâmetros genéticos de dados de porcentagem de emergência (PE), porcentagem de germinação (PG), comprimento de radícula (CR) e comprimento da parte aérea (CA) de plântulas oriundas de sementes colhidas nos estádios fenológicos R7 e R8 de genótipos de soja do experimento VCU produtividade, na cidade de Ijaci-MG na safra de 2018/2019.

FV	GL	prob > Fc							
		R7				R8			
		PE	PG	CR	CA	PE	PG	CR	CA
Genótipos (G)	15	**	**	**	**	**	**	**	**
Residual	48	-	-	-	-	-	-	-	-
Média geral		82	43,36	8,97	4,53	82,56	9,5	7,6	4,14
CV (%)		8,15	22,24	9,26	15,6	8,17	24,16	13,07	11,14
Parâmetros									
CQG		196,87	259,51	2,14	0,61	114,65	72,82	1,29	0,75
CVA		212,09	391,51	2,47	0,79	126,03	74,14	1,63	0,86
CVR		44,67	93,03	0,69	0,49	45,48	5,26	0,98	0,21