

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL – PPGPV**

YASMIN PINCEGHER SIEGA

**PRÉ-EMBEBIÇÃO DE ÁCIDO GIBERÉLICO EM SEMENTES DE FEIJÃO DE
CULTIVARES CONTRASTANTES PARA O VIGOR ALTERAM O
DESENVOLVIMENTO DE PLÂNTULAS**

LAGES

2023

YASMIN PINCEGHER SIEGA

**PRÉ-EMBEBIÇÃO DE ÁCIDO GIBERÉLICO EM SEMENTES DE FEIJÃO DE
CULTIVARES CONTRASTANTES PARA O VIGOR ALTERAM O
DESENVOLVIMENTO DE PLÂNTULAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, área de concentração em Fisiologia e Manejo de Plantas.

Orientadora: Prof.^a Dra. Cileide Maria Medeiros Coelho

LAGES

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Siega, Yasmin Pincegher

Pré-embrição de ácido giberélico em sementes de feijão de cultivares contrastantes para o vigor alteram o desenvolvimento de plântulas / Yasmin Pincegher Siega. - 2023.

88 p.

Orientadora: Cileide Maria Medeiros Coelho

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2023.

1. Phaseolus vulgaris L.. 2. Qualidade fisiológica. 3. Mobilização de reserva. 4. Giberelina. 5. Alfa-amilase. I. Coelho, Cileide Maria Medeiros. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. III. Título.

YASMIN PINCEGHER SIEGA

**PRÉ-EMBEBIÇÃO DE ÁCIDO GIBERÉLICO EM SEMENTES DE FEIJÃO DE
CULTIVARES CONTRASTANTES PARA O VIGOR ALTERAM O
DESENVOLVIMENTO DE PLÂNTULAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, área de concentração em Fisiologia e Manejo de plantas.

BANCA EXAMINADORA

Orientador:

Prof. Dra. Cileide Maria Medeiros Coelho
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membros:

Dra. Daiana Schmidt
Instituto Federal de Santa Catarina *campus* São Lourenço do Oeste

Dra. Giselle Camargo Mendes
Instituto Federal de Santa Catarina *campus* Lages

Dr. Volmir Kist
Instituto Federal Catarinense *campus* Concórdia

Lages, 23 de fevereiro de 2023

Aos meus pais Oelso e Cleide;

A minha irmã Sofia Tereza,

Dedico e ofereço com todo meu amor!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus de infinita bondade e sabedoria, por ter me dado o livre arbítrio, a fim de que eu buscasse, por mim mesmo, o meu caminho evolutivo.

Agradeço imensamente aos meus pais Oelso e Cleide, por todo amor, carinho, proteção e companheirismo durante minha vida. Tenho convicção de que sem vocês ao meu lado me dando todo o auxílio necessário, nada teria sido concretizado. Amo vocês!

À minha irmã, Sofia Tereza, por sempre ter uma palavra amiga e conseguir me acalmar nos diferentes momentos da vida, saiba que minha vida se tornou muito mais doce e repleta de momentos especiais após sua chegada. Te amo!

Aos demais familiares que me deram todo o apoio para seguir em busca de meus sonhos, em especial aos meus tios Doraci e Maria, por sempre me colocarem em suas orações.

À minha orientadora, professora Dra. Cileide Maria Medeiros Coelho, pela dedicação em me auxiliar durante esses dois anos. Serei eternamente grata por todo ensinamento compartilhado e por ter disponibilizado a oportunidade de ser sua orientada.

Aos amigos de laboratório de Análise de Sementes (UDESC-CAV): Cristiane, Leonardo, Jaqueline, Mariana e Matheus, pela convivência e ajuda na realização desta pesquisa.

À professora Giselle e ao amigo Matheus que me auxiliaram durante parte da pesquisa.

As amigas que nunca me deixaram desistir desse sonho e que sempre vibraram com minhas conquistas: Miriam, Leticia, Grace, Lenise e Renata.

Aos grandes amigos que fiz em Lages, em especial Raissa, Franciele e Patrícia que fizeram com que esse período fosse mais leve e proveitoso.

Ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV) e a Universidade do Estado de Santa Catarina pela oportunidade de formação e todo suporte prestado.

Aos membros da banca examinadora, obrigada por terem aceito o convite e todas as considerações realizadas para melhoria do trabalho.

Ao Fundo de Apoio à Manutenção e ao Desenvolvimento da Educação Superior (FUMDES) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Pós-Graduação.

Agradeço a todos aqueles que não foram citados, mas que me ajudaram de alguma maneira durante o mestrado.

MUITO OBRIGADA!

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso!
Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus,
estará com você por onde você andar” (Josué 1:9).

RESUMO

A pré-embrição de sementes com giberelina é uma prática usada para potencializar o desempenho inicial das plantas e superação de estresses abióticos, mas ainda não foi compreendido como o vigor inicial das sementes pode contribuir neste processo. No presente trabalho, foram realizados experimentos para determinar as alterações fisiológicas, bioquímicas e moleculares em sementes de feijão com níveis de vigor contrastantes durante processo de germinação e desenvolvimento inicial das plântulas quando submetido a aplicação exógena de ácido giberélico (GA_3) nas sementes. No primeiro capítulo, diferentes doses de GA_3 (0; 0,025; 0,05; 0,10; 0,20mM L⁻¹) foram testadas nas cultivares BAF44 e BAF55 (baixo e alto vigor, respectivamente) para avaliar como ocorre a regulação dos componentes de reserva durante a germinação e formação de plântulas de cultivares de feijão com diferença na qualidade fisiológica. Os resultados demonstram diferenças na dinâmica das reservas de sementes e na formação de plântulas, sendo o vigor inicial o fator preponderante neste processo. A cultivar BAF 55 (alto vigor) foi prejudicada pela aplicação das doses de GA_3 , pois apresentou maior massa seca remanescente nos cotilédones, indicando a que as reservas não foram utilizadas durante o desenvolvimento da plântula. A cultivar BAF 44 (baixo vigor) respondeu positivamente ao aumento das doses de GA_3 , pois favoreceram o uso das reservas da semente pela diminuição da massa seca remanescente no cotilédone, o que contribuiu para o maior comprimento do hipocótilo e plântula. As doses de 0,025 a 0,10mM L⁻¹ de GA_3 foram as que proporcionaram maior comprimento de hipocótilo, epicótilo e plântula, além da redução da massa do cotilédone indicando haver o uso das reservas anteriormente sintetizadas no cotilédone. No segundo capítulo, a partir do estudo das doses foi determinado uma dose única de GA_3 (0,035mM L⁻¹) para elucidar as possíveis alterações bioquímicas e moleculares durante o 3º, 5º e 7º dia de desenvolvimento da plântula sendo comparado com o tratamento controle (água). As avaliações no tratamento controle demonstraram que a cultivar de alto vigor teve maior comprimento de hipocótilo, epicótilo e plântula, além do melhor aproveitamento de suas reservas, pois as mesmas foram mobilizadas para formação de plântulas com maior massa seca. Contudo, a aplicação de GA_3 potencializou o maior comprimento de plântula somente para cultivar de baixo vigor, apresentando plântulas mais vigorosas em decorrência do aumento da expressão e atividade da enzima alfa-amilase que culminou em maior redução do amido e do açúcar solúvel total que foram destinados para os pontos de crescimento. A cultivar de alto vigor apresentou uma queda na expressão do gene de alfa-amilase quando pré-embecida em GA_3 , havendo uma “*down-regulation*” e esta foi a possível causa da diminuição do uso dos

componentes bioquímicos que afetou negativamente a dinâmica de mobilização de reserva. A aplicação de GA₃ em sementes de feijão afeta a dinâmica dos mecanismos de mobilização das reservas da semente, pela alteração do uso de seus componentes bioquímicos e moleculares, sendo características genéticas como o vigor da semente fator crucial para a percepção do hormônio.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.; qualidade fisiológica; mobilização de reserva; giberelina; alfa-amilase.

ABSTRACT

The pre-soaking of seeds with gibberellin is a practice used to enhance the initial performance of plants and overcome abiotic stresses, but it has not yet been understood how the initial vigor of seeds can contribute to this process. In the present work, experiments were carried out to determine the regulatory, biochemical and molecular alterations in bean seeds with contrasting vigor levels during the germination process and initial seedling development when cultivated with exogenous application of gibberellic acid (GA_3) in the seeds. In the first chapter, different doses of GA_3 (0; 0,025; 0,05; 0,10; 0,20mM L⁻¹) were tested in cultivars BAF44 and BAF55 (low and high vigor, respectively) to evaluate how the regulation of reserve components occurs during germination and seedling formation of common bean cultivars with difference in physiological quality. The results showed differences in the dynamics of seed reserves and seedling formation, with initial vigor being the preponderant factor in this process. Cultivar BAF 55 (high vigor) was harmed by the application of GA_3 doses, as it showed higher remaining dry mass in the cotyledons, indicating that the reserves were not used during seedling development. Cultivar BAF 44 (low vigor) responded positively to the increase in GA_3 doses, as they favored the use of seed reserves by decreasing the remaining dry mass in the cotyledon, which contributed to the greater length of the hypocotyl and seedling. Doses of 0,025 to 0,10mM L⁻¹ of GA_3 were those that provided greater hypocotyl, epicotyl and seedling length, in addition to reducing the cotyledon mass, indicating the use of reserves previously synthesized in the cotyledon. In the second chapter, from the study of doses, a single dose of GA_3 (0,035mM L⁻¹) was determined to elucidate possible biochemical and molecular changes during the third, fifth and seventh day of seedling development, being compared with the control treatment (water). Treatment estimates control that the high vigor cultivar had greater hypocotyl, epicotyl and seedling length, in addition to better use of its reserves, as they were mobilized to form seedlings with higher dry mass. However, the application of GA_3 enhanced the greater seedling length only for low vigor cultivars, with more vigorous seedlings due to the increase in the expression and activity of the alpha-amylase enzyme, which culminated in a greater reduction of starch and total soluble sugar that were destined for growth points. The high vigor cultivar showed a drop in alpha-amylase gene expression when in GA_3 , with a “down-regulation” and this was the possible cause of the decrease in the use of biochemical components that affected the reserve circulation dynamics. The application of GA_3 in bean seeds affects the dynamics of movement of the seed reserves, by changing the use of its biochemical and molecular

components, with genetic characteristics such as seed vigor being a crucial factor for the perception of hormones.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.; physiological quality; reserve mobilization; gibberellin; alpha-amylase.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Caracterização fisiológicas das cultivares de feijão comum BAF44 e BAF55 produzidas na safra 2021/2022..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 2 – Desempenho de plântulas (CH e CP) e mobilização das reservas (MSRC, MSP, URS, TURS e TMRS) da semente das cultivares BAF44 e BAF55 em função de diferentes doses de GA₃. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 3 – Efeito médio das doses de GA₃ no desempenho de plântulas e mobilização das reservas da semente. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 4 – Caracterização fisiológicas das cultivares BAF44 e BAF55 produzidas na safra 2021/2022..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 5 – Curva de embebição para as cultivares BAF44 e BAF55.**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 6 – Formação de plântulas durante o período de sete dias para os tratamentos controle (sem GA₃)..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 7 – Desempenho fisiológico das cultivares BAF44 e BAF55 durante o desenvolvimento de plântulas em função do tratamento sem ou com aplicação de GA₃. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 8 – Formação de plântulas durante o período de sete dias para os tratamentos com aplicação de GA₃. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 9 – Componentes da mobilização de reserva das cultivares BAF44 e BAF55 durante o desenvolvimento de plântulas em função do tratamento sem ou com aplicação de GA₃. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 10 – Taxa de mobilização de reservas das cultivares BAF44 e BAF55 durante o desenvolvimento de plântulas em função do tratamento sem ou com aplicação de GA₃. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 11 – Redução de amido e açúcar solúvel total das cultivares BAF44 e BAF55 durante o desenvolvimento de plântulas em função do tratamento sem ou com aplicação de GA₃. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 12 – Atividade da enzima alfa-amilase e redução de proteína das cultivares BAF44 e BAF55 durante o desenvolvimento de plântulas em função do tratamento sem ou com aplicação GA₃. **Erro! Indicador não definido.**

Figura 13 – Expressão relativa do gene da alfa-amilase (GenBank: AB015131.1) para as cultivares BAF44 e BAF55 ao sétimo dia de avaliação.**Erro! Indicador não definido.**

Figura 14 – Etapas da extração do RNA pelo método do TRIzol® 44

Figura 15 – Curva de dissociação ou de Melting dos fragmentos gerados a partir do gene alvo e as referências endógenas usando as cultivares BAF44 e BAF55 na presença ou ausência de GA₃. 44

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Grau de liberdade e quadrados médios obtidos da análise de variância para as características fisiológicas e de mobilização das reservas das sementes..... **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 2 – Efeito médio da cultivar no desempenho de plântulas e mobilização das reservas da semente **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 3 – Grau de liberdade e quadrados médios obtidos da análise de variância entre os fatores cultivar, dia e tratamento para as características fisiológicas e de mobilização das reservas das sementes43
- Tabela 4 – Grau de liberdade e quadrados médios obtidos da análise de variância entre os fatores cultivar, dia e tratamento para as características bioquímicas 43
- Tabela 5 – Sequências de primers usadas para avaliação molecular 44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO FEIJÃO	15
2.2	ATRIBUTOS DA QUALIDADE DE SEMENTE	16
2.3	PROCESSO DE GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE PLÂNTULA	19
2.3.1	Importância das reservas armazenadas na semente	21
2.3.2	Regulação hormonal após embebição de água.....	22
2.3.3	Via de biossíntese de GA durante germinação nas sementes	24
3	MOBILIZAÇÃO DE RESERVAS E DESENVOLVIMENTO DE PLÂNTULAS APÓS EXPOSIÇÃO DAS SEMENTES DE FEIJÃO AO ÁCIDO GIBERÉLICO	Erro! Indicador não definido.
3.1	INTRODUÇÃO.....	Erro! Indicador não definido.
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	Erro! Indicador não definido.
3.2.1	Material utilizado.....	Erro! Indicador não definido.
3.2.2	Análise fisiológica das sementes multiplicadas na safra 2021/2022	Erro! Indicador não definido.
3.2.3	Pré-embebição de ácido giberélico (GA ₃)	Erro! Indicador não definido.
3.2.4	Análise estatística	Erro! Indicador não definido.
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	Erro! Indicador não definido.
3.3.1	Qualidade fisiológica das sementes	Erro! Indicador não definido.
3.3.2	Desempenho fisiológico após pré-embebição das sementes em ácido giberélico (GA ₃)	Erro! Indicador não definido.
3.4	CONCLUSÃO.....	Erro! Indicador não definido.
4	RESPOSTAS FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS E MOLECULARES DECORRENTES DA APLICAÇÃO DE GIBERELINA EM SEMENTES DE FEIJÃO COM VIGOR CONTRASTANTES	Erro! Indicador não definido.
4.1	INTRODUÇÃO.....	Erro! Indicador não definido.
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	Erro! Indicador não definido.
4.2.1	Obtenção das sementes e caracterização fisiológica	Erro! Indicador não definido.
4.2.2	Pré-embebição das sementes em GA ₃	Erro! Indicador não definido.
4.2.3	Análise Estatística	Erro! Indicador não definido.
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	Erro! Indicador não definido.
4.4	CONCLUSÃO.....	Erro! Indicador não definido.

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	Erro! Indicador não definido.
	REFERÊNCIAS	27
	APÊNDICE	43

1 INTRODUÇÃO

A cultura do feijão é produzida globalmente, sendo cultivado diferentes gêneros e espécies. Dentre eles, o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) apresenta uma grande relevância socioeconômica no mundo, pois sua produção se concentra principalmente em países pobres dos continentes Americano, Africano e Asiático (FAO, 2020). Além disso é alimento básico na dieta humana, pois seus grãos apresentam alto teor de proteínas, carboidratos e minerais (ASSEFA *et al.*, 2019; PUNIA *et al.*, 2020).

A produção mundial de feijão comum é de 12 milhões de toneladas, sendo os principais países produtores Índia, Mianmar e Brasil (FAO, 2020). A produção brasileira nas últimas safras tem mantido comportamento linear, com aproximadamente 3 milhões de toneladas/ano. A região Centro-Sul corresponde a 73,6% de toda produção desta leguminosa no país e os principais estados produtores são Paraná, Minas Gerais e Goiás (CONAB, 2022).

O feijão comum utilizado em todo território nacional, apresenta grande variabilidade genética, sendo cultivado em sua maioria nas propriedades para o consumo próprio (PEREIRA *et al.*, 2011). No estado de Santa Catarina aproximadamente 67% da produção de feijão é oriunda de pequenas propriedades que implantam anualmente suas lavouras com sementes produzidas em sua propriedade ao longo dos anos (MICHELS *et al.*, 2014). Essas variedades foram melhoradas e adaptadas pelos agricultores detentores dessas sementes, em diferentes sistemas de manejo, e são classificadas como sementes crioulas (COELHO *et al.*, 2010).

A pesquisa com uso de sementes crioulas vem sendo realizado principalmente por apresentarem potencial de contribuição com características de importância agrônômica e nutricional. Algumas dessas variedades demonstram um maior potencial fisiológico em comparação com cultivares comerciais. Isso se deve pelas cultivares locais terem sua base genética extensa e relativa facilidade de adaptação às condições ambientais, enquanto que as cultivares comerciais são considerados linhagens com base genética limitada (MICHELS *et al.*, 2014). Entre os atributos de qualidade da semente, a germinação e o vigor desempenham um papel importante para entender sobre a viabilidade da semente (NERLING; COELHO; BRÜMMER, 2018).

A germinação é definida como a emergência e desenvolvimento de todas as estruturas essenciais do embrião, manifestando sua capacidade para originar uma plântula normal, sob condições ambientais favoráveis (EHRHARDT-BROCARD, 2017). Normalmente, os resultados obtidos pelo teste de germinação não se reproduzem a campo, pois as condições

raramente são ótimas o que gera resultados divergentes (PESKE; VILLELA; MENEGHELLO, 2019).

Por outro lado, o vigor indica o potencial das sementes para uma emergência rápida com uniformidade e pelo desenvolvimento de plântulas normais sob ampla diversidade de condições de ambiente (MARCOS-FILHO, 2015). As sementes que apresentam alto vigor proporcionam vantagens em situações adversas de ambiente, em relação às sementes de vigor médio ou baixo (KRZYZANOWSKI, FRANÇA-NETO, HENNING, 2018).

Durante o processo de germinação a água desempenha papel decisivo, pois através dela ocorre o controle da reidratação dos tecidos, que intensifica a respiração, a partir disso o sistema enzimático é ativado e inicia-se a hidrólise e mobilização de reservas, fornecendo energia e nutrientes para a retomada do crescimento do embrião (EHRHARDT-BROCARD; COELHO, 2016a; SUNMONU; KULKARNI; VAN STADEN, 2016). A maior velocidade com que ocorre a passagem pelas distintas fases da germinação, pode ser um indicativo de sementes com maior vigor (NERLING; COELHO; BRÜMMER, 2018).

Através da modernização da agricultura novas práticas vêm sendo realizadas com intuito de aumentar a taxa de germinação, crescimento das plantas e conseqüentemente rendimento da lavoura entre elas a aplicação de hormônios de forma exógena na semente. A Giberelina (GA) é um hormônio considerado promotor da germinação em sementes, por estimular o crescimento do embrião e induzir a síntese de enzimas hidrolíticas essenciais na hidrólise das reservas que induzem o início da protusão radicular (LI *et al.*, 2020; XIONG *et al.*, 2021). Além disso estudos recentes relatam que a aplicação de GA na semente auxilia na superação de estresses, como inundação (ZHOU *et al.*, 2021) e seca (KHAN *et al.*, 2020).

Os hormônios agem de forma integrada nos processos metabólicos relativos ao desenvolvimento, podendo estimular ou inibir o crescimento das plantas. Embora haja na literatura informações sobre melhor desempenho de culturas após uso de GA no tratamento de semente, não foi elucidado como o vigor inicial do lote pode influenciar os resultados, visto que sementes de alto vigor apresentam maior taxa de utilização e mobilização das reservas, que favorecem a formação de plântulas vigorosas (PADILHA; COELHO; ANDRADE, 2020).

Com a utilização de análises bioquímicas, é possível avaliar a capacidade de hidrólise e mobilização dos componentes de reserva durante o processo de germinação das sementes. Conforme estudo de Henning *et al.* (2010) sementes de soja com alto vigor apresentam maiores conteúdos de proteínas solúveis, amido e açúcares solúveis, além de terem maior capacidade de mobilizar as reservas presentes nos cotilédones que resultam em plântulas com melhor desempenho inicial. Pelo fato da GA atuar na síntese da enzima alfa-amilase e na conversão do

amido em açúcares solúveis durante o processo germinativo, a aplicação exógena pode contribuir na maior atividade enzimática, podendo favorecer o processo de mobilização e formação de plântulas de maior vigor (CHENG *et al.*, 2015).

Outra técnica que pode ser utilizada para entender os fatores associados com condições fisiológicas das sementes é através da expressão gênica, processo pelo qual as informações presentes em um determinado gene são codificadas em uma proteína (ORNELLAS *et al.*, 2019). Visto que enzimas são produtos da expressão gênica e são influenciadas pelo ambiente (SCHMITT; SKADSEN; BUDDE, 2013) conseguir mensurar a expressão da alfa-amilase pode ajudar a elucidar a participação dessa enzima durante o processo de germinação e associar com a formação de plântulas.

A regulação do processo de germinação vem sendo estudada por diferentes autores, e cada vez mais procura-se esclarecer a influência do vigor inicial da semente na formação da plântula. Entretanto não há registro na literatura de pesquisas que relacionem a aplicação de GA exógeno via semente com mudanças na hidrólise e mobilização das reservas, além de associar com a expressão de genes em sementes com vigor contrastantes.

Tais informações podem comprovar a influência deste hormônio na hidrólise das reservas além da regulação genética para formação de plântulas, e assim o melhor o entendimento dos mecanismos que controlam o vigor em sementes de feijão. Por este motivo, o objetivo geral do trabalho foi determinar as alterações fisiológicas, bioquímicas e moleculares em sementes de feijão com níveis de vigor contrastantes durante o processo de germinação e desenvolvimento inicial quando submetido a aplicação exógena de ácido giberélico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO FEIJÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), pertencente à família Leguminosae/Fabaceae é a espécie do gênero *Phaseolus* mais cultivada e consumida no mundo, sendo considerada a leguminosa de grão alimentar com maior valor de mercado (HUERTAS *et al.*, 2022; NASSARY; BAIJUKYA; NDAKIDEMI, 2020). Sua importância ultrapassa o aspecto econômico, principalmente por desempenhar papel fundamental na segurança alimentar como fonte de carboidrato e proteína na dieta de mais de 300 milhões de pessoas em diversos países da América Latina, África e Ásia (PETRY *et al.*, 2015; UEBERSAX *et al.*, 2022). Além disso, possui diversos micronutrientes e vitaminas benéficos a saúde humana, tais como ferro, zinco, tiamina e ácido fólico (DELFINI *et al.*, 2017; SÁ; MORENO; CARCIOFI, 2020).

De acordo com os dados da FAO (2020) a cultura é cultivada em 23 milhões de hectares com produção mundial de 12 milhões de toneladas ao ano. Dentre os principais países produtores deste grão o Brasil ocupa o terceiro lugar, com produção na safra 2021/2022 de aproximadamente 3 milhões de toneladas (CONAB, 2022). Essa leguminosa é consumida diariamente por cerca de 70% da população brasileira, alcançando consumo médio de 17,8 kg hab⁻¹ ano⁻¹, sendo símbolo da culinária brasileira pela famosa combinação com arroz, que constitui a alimentação básica, principalmente, de famílias com baixa renda (MAPA, 2018). Embora exista diversidade genética nesta espécie, os maiores volumes de feijão disponibilizados ao consumo humano se restringem a variedades do tipo carioca e preto, ainda que seja possível encontrar feijões de formas e cores distintas, contudo, a preços relativamente superiores.

No estado de Santa Catarina os dados do CEPA (2022) informam que a maior microrregião produtora é Xanxerê com 36 mil toneladas, destaque para a cidade de Abelardo Luz com 13 mil toneladas de produção e rendimento de 2.305,26 kg/ha na safra 2021/2022. Informações da safra 2020/2021, indicam haver uma pequena redução de 2,3% na área plantada, e um dos motivos fundamentais para essa diminuição foi a ocorrência de estiagem no início da safra, atrelado ao excesso de chuvas no final do ciclo, ocasionando em alguns locais o brotamento da semente ainda na vagem. É importante também salientar a alta oscilação de preços no mercado que causa insegurança ao produtor na tomada de decisão sobre o plantio desta cultura.

No estado o feijão é cultivado principalmente por pequenos produtores, sendo em sua maioria nas propriedades para o consumo próprio (PEREIRA *et al.*, 2011). Nos estabelecimentos desses agricultores, geralmente são cultivadas populações com adaptações específicas às suas condições econômicas, ambientais e sociais, o que lhes proporciona maior estabilidade produtiva. Por esta razão muitos agricultores preferem realizar seus cultivos a partir de sementes próprias. Estas populações cultivadas ao longo do tempo em seus ambientes particulares, amplamente influenciadas pelo ambiente local, são classificadas como variedades crioulas (COELHO *et al.*, 2010).

No feijão, as variedades crioulas são um importante componente da biodiversidade vegetal e constituem a base de programas de melhoramento da espécie. Conforme constatado por Carović-Stanko *et al.* (2017) esses materiais adotaram uma maior importância por conter alelos com adaptações locais, resistência a doenças e tolerância às principais adversidades climáticas. Como a diversidade genética é afetada por fatores antropogênicos, há uma necessidade da conservação e utilização desses recursos vegetais locais (JAN *et al.*, 2021).

Um dos trabalhos pioneiros com variedades crioulas de feijão foi realizado por Mukunya (1975), onde ficou evidenciado que cultivares locais apresentavam resistência a antracnose, acelerando o início do programa de melhoramento no Quênia. Nos últimos anos os estudos com variedades crioulas de feijão vem sendo realizado para diferentes linhas de pesquisa, como caracteres morfo-agronômicos (COELHO *et al.*, 2010), qualidade e componentes nutricionais (CELMELI *et al.*, 2018; PEREIRA *et al.*, 2011), qualidade fisiológica (EHRHARDT-BROCARD; COELHO, 2016a; MICHELS *et al.*, 2014a), mobilização de reservas (PADILHA; COELHO; ANDRADE, 2020) e biofortificação de alimentos (PHILIPPO; NDAKIDEMI; MBEGA, 2020).

Essas pesquisas indicam a predominância de alta variabilidade nessas cultivares mantidas ao longo dos anos pelos agricultores e bancos de germoplasma, além disso é de extrema relevância a continuação de trabalhos que investiguem a diversidade de caracteres nessas populações a fim de auxiliar no uso e conservação das mesmas.

2.2 ATRIBUTOS DA QUALIDADE DE SEMENTE

Desde a década de 1980, o Brasil tornou-se um dos maiores exportadores agrícolas do mundo, emergindo como uma potência agrônômica global (PICOLI *et al.*, 2018; STABILE *et al.*, 2020). Em 2020 o agronegócio foi responsável por mais de 26% do PIB brasileiro, e dados indicam que o país é responsável por alimentar mais de 600 milhões de pessoas no mundo

(CEPEA, 2020). Dentre as matérias-primas que são largamente produzidas e comercializadas no Brasil as sementes tem grande destaque, podendo alcançar produção recorde na safra 2022/2023 com 312 milhões de toneladas (CONAB, 2022).

Atualmente, a semente é considerada um pacote tecnológico, e por esse motivo é imprescindível a utilização de sementes que foram produzidas conforme as especificidades da espécie, que são comercializadas como sementes certificadas. Através do processo de produção certificada ocorre a garantia de que as características genéticas e da identidade da cultivar sejam manifestadas (CARVALHO; NAKAWA, 2012).

Dentre as principais culturas plantadas no país, o feijão é uma das que apresenta menor utilização de sementes certificadas pelos agricultores. Os dados da Associação Brasileira de Sementes e Mudanças (2021) revelam que na safra 2020/2021 o uso de sementes certificadas de feijão foi de 18% no país, tendo uma variação entre os estados. Esse valor se deve principalmente ao uso de sementes salvas, remanescentes da última safra, que são produzidas como grãos, sem as normas legais exigidas para a produção formal de sementes. Tais sementes, não passam por análises, desta forma sua qualidade pode ser comprometida, e gerar prejuízos no desenvolvimento da cultura afetando diretamente sua produção (PESKE; VILLELA; MENEGHELLO, 2019).

A utilização de sementes salvas (produção própria) por agricultores é cabível por meio do Decreto nº 10.586 de 2020 que regulamenta a Lei de Sementes (10.711/03) (MAPA, 2003) e tem sido utilizada como uma alternativa para diminuição dos custos de produção. Entretanto o uso dessas sementes pode estar associado com perdas da qualidade; conforme observado por Bellé *et al.* (2015), sementes salvas de soja apresentam baixa qualidade fisiológica além de alta incidência de fungos, esses resultados estão relacionados com o armazenamento em condições inadequadas e com elevado grau de umidade.

Sementes com qualidade são a fonte básica de um abastecimento alimentar seguro. Para que uma semente tenha alta qualidade deve apresentar um conjunto de quatro atributos: genético, físico, fisiológico e sanitário. Cada um desses atributos confere diferentes características que são essenciais durante o processo de germinação e estabelecimento de plântulas, que confere a garantia de um elevado desempenho agrônomico, que é a base fundamental do sucesso para uma lavoura bem instalada (MARCOS-FILHO, 2015; KRZYZANOWSKI, FRANÇA-NETO, HENNING, 2018).

A qualidade genética da semente corresponde diretamente pela pureza varietal, e é através desse atributo que são manifestadas as características da variedade como produtividade, adaptabilidade e precocidade que foram incorporadas através do melhoramento genético da

espécie. Quando ocorrem misturas de outras variedades acontece uma queda na produtividade, atrelada pela presença de plantas atípicas, com ciclo vegetativo diferente e mais suscetíveis a pragas e doenças, que ocasiona em lavoura desuniforme e heterogênea (PESKE; VILLELA; MENEGHELLO, 2019).

A qualidade física é definida por vários fatores, entre eles a umidade, formato e pureza física da semente, que é constituída pela porcentagem de sementes silvestres, outras sementes e material inerte (PESKE; VILLELA; MENEGHELLO, 2019). A consequência de utilizar sementes com baixa pureza física é alta incidência de infestação da lavoura por plantas indesejáveis, que irão dificultar as etapas de colheita, pré-limpeza, secagem e classificação.

A qualidade sanitária se refere a presença de microorganismos nas sementes, que podem comprometer a produtividade e ser veículo de disseminação de fungos, bactérias, nematoides e vírus (PESKE; VILLELA; MENEGHELLO, 2019). A detecção e identificação destes patógenos é indispensável pois através dela se faz a tomada de decisão para aceitar ou descartar o lote.

A qualidade fisiológica é a capacidade da semente em desempenhar suas funções vitais sob condições ambientais favoráveis ou desfavoráveis, caracterizando-se pela longevidade, germinação e vigor (MARCOS-FILHO, 2015). Portanto, os efeitos sobre a qualidade fisiológica geralmente são traduzidos pelo decréscimo na porcentagem de germinação, aumento de plântulas anormais e redução do vigor das plântulas (TOLEDO *et al.*, 2009).

A germinação pode ser definida como reativação do crescimento do embrião, que resulta no desenvolvimento de todas as estruturas essenciais para o estabelecimento de uma plântula normal, sob condições ambientais favoráveis. Por outro lado, o vigor expressa o potencial das sementes para uma emergência rápida com uniformidade e pelo desenvolvimento de plântulas normais sob ampla diversidade de condições de ambiente (MARCOS-FILHO, 2015). As sementes que apresentam alto vigor proporcionam vantagens em situações adversas de ambiente, em relação às sementes de vigor médio ou baixo (KRZYZANOWSKI, FRANÇA-NETO, HENNING, 2018).

É reconhecido que os valores do teste de germinação nem sempre se refletem a campo visto que em laboratório é proporcionado a condição ideal para o desenvolvimento da cultura. Desta forma é importante associar testes que mensurem o vigor para que seja possível determinar o real potencial fisiológico das sementes, principalmente as que apresentam porcentagem de germinação semelhante, para ser possível diferenciar de forma mais adequada os lotes que tem maior probabilidade de bom desempenho a campo (MARCOS-FILHO, 2015; REED; BRADFORD; KHANDAY, 2022).

O vigor da semente é baseado em interações complexas entre genes e o ambiente (REED; BRADFORD; KHANDAY, 2022), sendo considerado uma característica agrônômica complexa, por incluir o desempenho a campo e também o histórico de armazenamento da semente. Mondo, Nascente e Neto (2016) avaliando lotes de feijão verificaram que as sementes classificadas como baixo vigor apresentaram reduções de até 20% no rendimento de grãos. Esses resultados estão atrelados a fatores fisiológicos e bioquímicos que identificam mudanças entre sementes contrastantes no vigor, pois aquelas que apresentam maior vigor não necessitam passar por um período de reestruturação durante o processo germinativo que influencia diretamente no rendimento final da cultura (EBONE; CAVERZAN; CHAVARRIA, 2019).

Entre os testes de vigor utilizados para classificação de lotes um dos mais utilizados é o teste de envelhecimento acelerado, que tem como princípio avaliar o desempenho das sementes que foram submetidas a altas temperaturas e umidades (DELOUCHE; BASKIN, 1973). A avaliação do vigor de feijão por este teste apresenta grande aceitação, por ser sensível e conseguir categorizar melhor os lotes semelhantes em germinação, mas contrastantes no vigor (BERTOLIN; EUSTÁQUIO DE SÁ; MOREIRA, 2011; MEDEIROS *et al.*, 2019).

Estudos que avaliem a influência do vigor vêm sendo uma nova linha de pesquisa com bastante importância no meio acadêmico, isso porque sementes de alto vigor apresentam diferentes estratégias para que ocorra a formação de plântulas com maior crescimento e peso seco, em condições ideais (LI *et al.*, 2022) ou para superação de estresses (ANDRADE; MEDEIROS COELHO; UARROTA, 2020). Além disso sementes com maior vigor também apresentam menores reduções na viabilidade e no vigor ao longo do armazenamento (ABATI *et al.*, 2022).

2.3 PROCESSO DE GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE PLÂNTULA

A maioria das plantas superiores inicia seu ciclo de vida como uma semente, e a germinação é considerada a primeira decisão adaptativa em seu desenvolvimento (TUAN *et al.*, 2018). A capacidade de uma semente germinar e estabelecer uma planta na época correta é de vital importância do ponto de vista ecológico (manutenção da espécie) e econômico (rendimento da cultura). Esse processo é controlado por atividades coordenadas de diversas vias biológicas, que por sua vez são reguladas pela expressão espontânea e diferencial de várias famílias de genes (CARRERA-CASTAÑO *et al.*, 2020; FU; AHMED; DIEDERICHSEN, 2015).

A absorção de água pela semente anuncia o início da germinação, enquanto que o alongamento do eixo embrionário que culmina na protusão da raiz primária indica o fim deste processo (TAIZ *et al.*, 2017; BEWLEY *et al.*, 2013). A captação de quantidade suficiente de água pela semente é fundamental para o metabolismo celular visto que a água absorvida será utilizada para diferentes fins, como: atividades enzimáticas, solubilização, transporte de reservas e como reagente para que seja possível realizar a digestão das substâncias de reservas armazenadas anteriormente (MARCOS-FILHO, 2015).

Em condições normais, a absorção de água pelas sementes apresenta um padrão trifásico, ou seja, é constituída de 3 distintas fases (BEWLEY *et al.*, 2013), sendo que a duração de cada uma depende das relações hídricas semente/substrato (MARCOS-FILHO, 2015). A fase I ou embebição, é caracterizada pela rápida transferência água do substrato para semente, através da grande diferença de potencial hídrico (BEWLEY *et al.*, 2013). Durante esta fase vários processos fisiológicos são iniciados, incluindo a degradação das substâncias de reservas (carboidratos e proteínas) e a retomada das atividades respiratórias. Nesta fase também ocorre o reparo das mitocôndrias que desempenham papel importante na produção de ATP que é fundamental para o processo de germinação (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; TUAN *et al.*, 2018).

A partir das reduções da taxa de absorção de água e intensidade de respiração, as sementes em germinação entram na fase II. Simultâneos eventos ocorrem durante esta fase, incluindo o reparo contínuo do DNA e das mitocôndrias, a síntese de novas mitocôndrias, síntese e consumo de ATP, síntese de proteínas e mRNA e ativação enzimática. Estes eventos resultam no início da mobilização de reservas, que garante o acúmulo de solutos que são utilizados para a expansão do embrião (MARCOS-FILHO, 2015).

A protusão da radícula através da testa/revestimento da semente, marca o final da fase II e o início da fase III (estágio pós-germinação). Esta etapa é alcançada somente por sementes vivas e não dormentes (BEWLEY *et al.*, 2013; MARCOS-FILHO, 2015). Neste momento ocorre a mobilização e transporte das reservas para os pontos de crescimento do embrião. A divisão celular, a síntese de DNA e o alongamento da célula da radícula também ocorrem durante a terceira fase de absorção da água (TUAN *et al.*, 2018).

Conforme Carvalho e Nakagawa (2012) alguns fatores podem interferir no processo de germinação, sendo eles externos (longevidade e viabilidade) e internos (água, temperatura e oxigênio). Certamente dentre esses fatores citados o que é mais decisivo é a água, pois a partir dela que resulta a reidratação dos tecidos e conseqüentemente a retomada do crescimento pela intensificação da respiração e atividades metabólicas.

A taxa de absorção de água não é dependente exclusivamente do ambiente que a semente está, pois se relaciona com as características de cada espécie. A curva padrão de hidratação de feijão foi avaliada por Ehrhardt-Brocardo e Coelho (2016) em cultivares contrastantes no vigor, em que todas as cultivares apresentaram padrão trifásico de embebição, contudo as sementes com maior qualidade fisiológica apresentaram maior velocidade de hidratação quando comparadas com as de baixa qualidade fisiológica.

Atualmente o uso de pré-embebição das sementes (*priming* de semente) em soluções contendo substâncias benéficas vem sendo utilizado para aumentar parâmetros agrônômicos. Em estudo recente realizado por Majda *et al.* (2019) a aplicação de molibdênio em sementes de feijão resultou em maior capacidade de absorção de água pela semente quando comparado com o controle, tendo alteração na curva de embebição. Essa maior capacidade de absorção de água inicial foi associada com um maior índice de germinação.

2.3.1 Importância das reservas armazenadas na semente

A mobilização massiva de reservas que ocorre após a germinação fornece nutrientes para a plântula em crescimento até que ela se torne autotrófica (CARRERA-CASTAÑO *et al.*, 2020). As reservas podem funcionar como fonte de energia para manter os processos metabólicos em funcionamento ou como fonte de nutrientes para construção de tecidos que constituirão a plântula, sendo as proporções de cada componente variáveis (MARCOS-FILHO, 2015).

O feijão possui alto valor nutritivo devido ao equilíbrio de carboidratos e proteínas, e uma alta diversidade de aminoácidos em relação aos cereais (LOS *et al.*, 2018; SÁ; MORENO; CARCIOFI, 2020). Além dos conhecimentos nutricionais o conhecimento da composição química das reservas é de interesse prático para a Tecnologia de Sementes, pois tanto o vigor como o potencial de armazenamento das sementes são influenciados pelo teor dos compostos (CARVALHO, NAKAGAWA, 2012).

Conforme Carvalho e Nakagawa (2012) as proteínas são os componentes básicos de toda célula viva, podendo funcionar como enzimas, componentes estruturais e materiais de reserva. A embebição da semente com água marca uma grande mudança no metabolismo de proteínas. Proteínas que foram sintetizadas e armazenadas em abundância na semente são hidrolisadas na presença de proteases em aminoácidos livres para biossíntese e geração de energia (TAN-WILSON; WILSON, 2012).

As sementes apresentam uma parte das proteínas metabolicamente ativas que são as enzimas e nucleoproteínas, que atuam como biocatalizadores, na síntese de proteínas e responsáveis pela estrutura e funcionamento dos cromossomos e genes. As proteínas metabolicamente inativas são as utilizadas para a formação de novos tecidos nos pontos de crescimento, sendo armazenadas em partículas proteicas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

As proteínas de reservas são classificadas com base na diferença de solubilidade, sendo as principais na cultura do feijão a globulina representando cerca de 50 a 70% das proteínas totais e a albumina (20 a 30% das proteínas totais). Estudos já relatam que existe variação não somente no teor de proteínas, mas também em sua composição (MUNDI; ALUKO, 2012). No trabalho de Ehrhardt-Brocardo e Coelho (2022) avaliando as frações proteicas solúveis durante a germinação de sementes de feijão por espectrometria de massas foi possível associar maiores frações de glutelinas em cultivares de alto vigor, se diferenciando dos que apresentavam baixo vigor, indicando que um maior potencial fisiológico está associado com uma melhor mobilização desta reserva.

Os carboidratos são o principal componente do feijão; sendo encontrados em quantidades significativas entre 50-60% da matéria seca. Dentre os carboidratos contidos no feijão, o de maior proporção e disponibilidade é o amido que é degradado principalmente pela enzima alfa-amilase (BEWLEY *et al.*, 2013; RODRÍGUEZ *et al.*, 2022). A alfa-amilase é sintetizadas durante as primeiras fases da germinação, por estímulo fito-hormonal, através da síntese e liberação de giberelina (GA) (CARVALHO, NAKAGAWA, 2012).

Padilha, Coelho e Ehrhardt-Brocardo (2021) estudando a associação entre vigor e atividade da enzima alfa-amilase em sementes de feijão observaram que as sementes de alto vigor apresentaram maior atividade da alfa-amilase que resultou em maior taxa de redução de amido e maior taxa de redução de reservas. Os lipídeos são a menor fração de reserva das sementes de feijão, porém tem grande importância por serem considerados fontes de energia mais eficiente que os carboidratos, durante a germinação (MARCOS-FILHO, 2015). A translocação dessas substâncias para o eixo embrionário ocorre da região de alta concentração para onde tem um rápido consumo, que é característico de tecidos em crescimento (CARVALHO, NAKAGAWA, 2012).

2.3.2 Regulação hormonal após embebição de água

A germinação depende do estado fisiológico da semente, que é parcialmente causado pela interação entre o genótipo da planta e um amplo espectro de fatores ambientais. A

regulação espaço-temporal deste processo ocorre através do metabolismo e sinalização de dois fitohormônios com funções antagonicas, a giberelina (GA) e ácido abscísico (ABA) (CARRERA-CASTAÑO *et al.*, 2020).

A partir da embebição rápida de água que ocorre na fase I ocorre a hidratação dos polímeros de reserva e paredes celulares dentro da célula que estimula a produção de fitohormônios no embrião, em especial GA, que leva à síntese de enzimas hidrolíticas, incluindo a alfa-amilase (BEWLEY *et al.*, 2013). Durante a fase II (reativação metabólica), as enzimas hidrolíticas são ativadas com uma diminuição concomitante do conteúdo endógeno do ABA, ocorrendo simultaneamente a hidrólise das reservas que fornecem a energia para a protrusão da radícula na fase III.

As quantidades destes hormônios são reguladas pelas taxas de síntese *versus* sua desativação. Durante os primeiros estágios do desenvolvimento da semente, a sensibilidade ao ABA é alta, enquanto que a sensibilidade a GAs é baixa, sendo assim favorece a dormência sobre a germinação. Contudo ao longo do desenvolvimento da semente, a sensibilidade ao ABA diminui e a de GA aumenta, desta forma favorece a germinação (FERREIRA, 2022).

Na literatura a GA é reconhecido como sendo o “hormônio da germinação”, visto sua importância durante este processo. As GAs são um grande grupo de ácidos carboxílicos diterpenóides tetracíclicos, dos quais apenas um número pequeno é biologicamente ativo, funcionando como hormônios de crescimento em plantas superiores. As principais GAs bioativas são GA₁, GA₃, GA₄ e GA₇, que atuam durante todo o ciclo de vida da planta para estimular o crescimento da maioria dos órgãos por meio de divisão celular aprimorada e alongamento celular (COLEBROOK *et al.*, 2014).

Em estudo realizado na cultura do feijão, Pedó *et al.* (2018) verificou que a matéria seca total e a eficiência de conversão de energia solar são superiores em plantas quando submetidas à aplicação exógena de ácido giberélico, além de ter efeito positivo na qualidade fisiológica das sementes produzidas. Urbanova; Leubner-Metzger (2016) constataram que a aplicação exógena de GA promove aumento de germinação e crescimento de planta de diversas espécies, associado pelo aumento do nível de GA bioativa quando submetidas a estresses abióticos e em mutantes deficientes em GA.

Além de ABA e GAs, outros hormônios vegetais atuam de forma secundária na regulação da germinação em sementes, como etileno, citocinina, brassinosteróides e jasmonatos. Esses hormônios atuam diretamente na rota metabólica por meio de efeitos inibitórios na biossíntese de ABA (JACOBSEN *et al.*, 2013; KUCERA; COHN; LEUBNER-

METZGER, 2005; TUTTLE *et al.*, 2015), que resultam na superação da dormência das sementes.

2.3.3 Via de biossíntese de GA durante germinação nas sementes

A distribuição temporal da germinação depende principalmente da interação entre o ambiente e a composição genética da planta, que condiciona tanto a dormência quanto o potencial de germinação. Todas as GA são sintetizadas pela rota dos terpenoides e tem como precursor moléculas de geranylgeranyl difosfato (GGPP), sendo essa via de biossíntese dividida em três etapas distintas que ocorrem em locais específicos (TUAN *et al.*, 2018).

A primeira etapa ocorre nos plastídios, pela conversão de GGPP em ent-caureno por meio de uma reação de ciclização mediada pelas enzimas ent-copalil difosfato sintase (CPS) e ent-caureno sintase (KS). No segundo momento, no retículo endoplasmático ocorre a oxidação gradual do ent-caureno produzido na primeira etapa, pelas ações das enzimas ent-caureno oxidase (KO) e ácido ent-caurenóico oxidase (KAO), que leva a síntese de GA₁₂ a primeira GA formada em todas as plantas (CARRERA-CASTAÑO *et al.*, 2020).

Na etapa final, no citosol, a via de biossíntese se divide em duas rotas diferentes, em uma rota os intermediários têm um grupo hidroxila (OH) adicionado ao carbono 13 que produzira por exemplo a GA bioativa GA₁, enquanto os intermediários da segunda rota não o possuem, e originam GA₄ (HEDDEN; SPONSEL, 2015). Esta última etapa ocorre de forma complexa por múltiplas reações catalisadas por enzimas. As duas últimas enzimas nessa rota são codificadas pelos membros das famílias dos genes GA20ox e GA3ox (BINENBAUM; WEINSTAIN; SHANI, 2018; CARRERA-CASTAÑO *et al.*, 2020).

A quantidade de GAs bioativos nos tecidos vegetais também é controlada por sua inativação. A GA 2-oxidação é considerada a principal forma de reação que converte GAs bioativos e/ou seus precursores em formas inativas, sendo essa reação catalisada pela enzima GA20ox (TUAN *et al.*, 2018). As plantas realizam a regulação dos níveis de GAs por um processo chamado de retroalimentação, em que conseguem reduzir os níveis endógenos de GAs ativas, regulando negativamente os genes GA20ox e/ou GA3ox, ou positivamente os genes da GA20ox (PAPARELLI *et al.*, 2013).

A presença das GAs com atividade biológica que foram produzidas nas etapas anteriormente elucidadas desencadeiam a interação do seu receptor GID1 com as proteínas DELLA, através de seu domínio N-terminal e formação de um complexo de ubiquitinação.

Através disso ocorre a degradação das proteínas DELLA que atuam como repressores do crescimento por regularem negativamente a sinalização de GA (COLEBROOK *et al.*, 2014).

A regulação por retroalimentação é ilustrada através de estudos com plantas mutantes de arroz sem a sinalização de *GID1* que são os componentes centrais que direcionam a degradação de DELLA em resposta a GA. Nesses estudos foi possível identificar que nesses mutantes, os níveis de expressão de genes biossintéticos de GA regulados por “feedback” são altamente elevados e não são regulados negativamente pelo tratamento com GA exógeno. Conseqüentemente, esses mutantes acumulam níveis altamente elevados de GAs bioativos (CHANDLER *et al.*, 2008; GRIFFITHS *et al.*, 2006).

As GAs também podem influenciar o metabolismo de ABA, através da diminuição de *RGL2* que é um componente da proteína DELLA, que atua como repressor de germinação, e estimula a biossíntese de ABA. Uma vez que o *RGL2* está sujeito à degradação ou inativação após a percepção de GA, ocorre a diminuição da atividade e conseqüentemente síntese e sinalização de ABA, ambos os quais têm um efeito positivo na germinação (TUAN *et al.*, 2018).

Em trabalho realizado por Wang *et al.* (2018) com sementes de arroz submetidas a estresse térmico por baixa temperatura, a aplicação exógena de GA₃ (10 µM) estimulou a transdução do sinal de GA e inibiu a síntese de ABA, ao mesmo tempo em que aumentou a hidrólise do amido e o consumo de açúcar que ocasionou o aumento da germinação.

Outro trabalho realizado com sementes de arroz com níveis distintos de dormência, Liu *et al.* (2014) evidenciaram que os acúmulo de GAs é o fator preponderante para que ocorra o desenvolvimento da semente, pois a cultivar com dormência apresentou pequenas alterações nos transcritos do gene do metabolismo de GA, sugerindo que acumulou pouca quantidade de GAs ativos durante o desenvolvimento da semente, enquanto que a cultivar que não apresentava dormência teve acúmulo de GA.

Verifica-se que trabalhos que examinem as mudanças do metabolismo que ocorrem nas sementes de feijão durante o processo germinativo após aplicação exógena de GA são escassos na literatura. Estudos que visem avaliar as alterações fisiológicas, bioquímica e genéticas podem ser utilizados para auxiliar na compreensão das diferenças que ocorrem na hidrólise e mobilização das reservas de sementes com qualidade fisiológica contrastante. Além disso a cultura do feijão está surgindo como um dos melhores modelos agrícolas para o estudo da biologia de sementes, pois além de recentemente ter sido lançado seu genoma, vários recursos genéticos estão sendo disponíveis para avanços na pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABATI, J. *et al.* Water absorption and storage tolerance of soybean seeds with contrasting seed coat characteristics. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 44, 21 dez. 2021.

DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.53096>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/asagr/a/98VctZMSSXPkw9XPhNCMn3r/abstract/?lang=en>. Acesso em 10 dez 2022.

ABDUL BAKI, A. A.; ANDERSON, J. D. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. **Crop Science**, 13: 630-633, 1973. DOI:

<https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>. Disponível em:

<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>. Acesso em 10 nov 2022.

ABRASEM, Associação Brasileira de Sementes e Mudanças. **Estatística – Feijão, 2021**. Brasil. Disponível em: <http://www.abrasem.com.br/estatisticas>. Acesso em 20 out 2022.

AKTER, N. *et al.* Alleviation of drought stress in maize by exogenous application of gibberellic acid and cytokinin. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 17, n. 1, p. 41–48, 1 mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12892-013-0117-3>. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12892-013-0117-3>. Acesso em 10 set 2022.

ANDRADE, G. C. DE; COELHO, C. M. M.; PADILHA, M. S. Seed reserves reduction rate and reserves mobilization to the seedling explain the vigour of maize seeds. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 4, p. 488–497, 1 out. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n4227354>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/jss/a/prQB93fStWGzC5RjTRL3Ryq/?lang=en>. Acesso em 15 de nov 2022.

ANDRADE, G. C.; MEDEIROS COELHO, C. M.; UARROTA, V. G. Modelling the vigour of maize seeds submitted to artificial accelerated ageing based on ATR-FTIR data and chemometric tools (PCA, HCA and PLS-DA). **Heliyon**, v. 6, n. 2, 1 fev. 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03477>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020303224>. Acesso em 12 out 2022.

ASSEFA, T. *et al.* A review of breeding objectives, genomic resources, and marker-assisted methods in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Molecular**, v.20, n. 39, p. 1-23, 1 fev 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11032-018-0920-0>. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/s11032-018-0920-0>. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11032-018-0920-0>. Acesso em 28 out 2022.

ATROCH, E. M. A. C. *et al.* Reguladores de crescimento na germinação de sementes e vigor de plântulas de guaranazeiro. **Biodiversidade**, v. 19, n. 1, p. 40–49, 2020. Disponível em:

<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/biodiversidade/article/view/9990>. Acesso em 30 de out 2022.

AZIMI, S. M. *et al.* Effect of gibberellin, nano-nutrition with titanium, zinc and iron on yield and some physiological and qualitative traits of white beans. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 50, n. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha50112538>.

Disponível em: <https://www.notulaeobotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/12538>. Acesso em 18 nov 2022.

BARBOZA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p. 1-272, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/61388/1/seriedocumentos-272.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2022.

BELLÉ, C. *et al.* Qualidade fisiológica e sanitária de sementes salvas de soja da região norte do Rio Grande do Sul. **Revista Agrarian**, v. 9, n. 31, p. 1–10, 2015. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/3520>. Acesso em 15 de nov 2022.

BERTOLIN, D. C.; EUSTÁQUIO DE SÁ, M.; MOREIRA, E. R. Parâmetros do teste de envelhecimento acelerado para determinação do vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, p. 104–112, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/vSdcLQJL6NZwmLCdn6y3z8h/abstract/?lang=pt>. Acesso em 16 dez 2022.

BEWLEY, D. J. *et al.* **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3 ed. New York: Springer, 2013. 392 p.

BINENBAUM, J.; WEINSTAIN, R.; SHANI, E. Gibberellin Localization and Transport in Plants. **Trends in Plant Science**, v. 23, n. 5, p. 410–421, 1 maio 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.02.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138518300244>. Acesso em 14 nov 2022.

BRADFORD, M. M. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. **Analytical biochemistry**, v. 72, p. 248–254, 1976. DOI: <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>. Disponível em: <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.translate.goog/942051/>. Acesso em 12 set 2022.

BRASIL. **Lei de análise de sementes**. Brasília: 2003. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/110.711.htm#:~:text=LEI%20No%2010.711%2C%20DE%205%20DE%20AGOSTO%20DE%202003.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20o%20Sistema%20Nacional,Mudas%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.&text=Art. Acesso em 10 set 2022.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ ACS, 2009. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf. Acesso em 10 set 2022.

CAROVIĆ-STANKO, K. *et al.* Genetic diversity of Croatian common bean landraces. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1-8, 20 abr. 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00604>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00604/full>. Acesso em 20 nov 2022.

CARRERA-CASTAÑO, G. *et al.* An updated overview on the regulation of seed germination. **Plants**, v. 9, n. 6, p. 1–42, 1 jun. 2020. DOI:

<https://doi.org/10.3390/plants9060703>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/9/6/703>. Acesso em 6 dez 2022.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 588p.

CELMELI, T. *et al.* The nutritional content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in comparison to modern varieties. **Agronomy**, v. 8, n. 9, 1 set. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy8090166>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/8/9/166>. Acesso em 9 nov 2022.

CEPA, **Centro de Socioeconômica e Planejamento Agrícola. Acompanhamento de safra**. CEPA, 2022. Disponível em: <https://cepa.epagri.sc.gov.br/index.php/produtos/acompanhamento-de-safras/>. Acesso em 10 nov 2022.

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do Agronegócio-Dados de 1994 a 2019**. CEPEA, 2020. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso 8 ago 2022.

CHANDLER, P. M. *et al.* Characterization of gibberellin receptor mutants of barley (*Hordeum vulgare* L.). **Molecular Plant**, v. 1, n. 2, p. 285–294, 2008. DOI: 10.1093/mp/ssn002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674205214604366>. Acesso em 9 dez 2022.

CHAUHAN, A. *et al.* Influence of gibberellic acid and different salt concentrations on germination percentage and physiological parameters of oat cultivars. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 6, p. 1298–1304, 1 set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.04.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X19300683>. Acesso em 10 jan 2023.

CHENG, J. *et al.* Physiological characteristics of seed reserve utilization during the early seedling growth in rice. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 38, n. 4, p. 751–759, 1 dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-015-0190-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40415-015-0190-6>. Acesso em 12 dez 2022.

CHENG, X. *et al.* Seed reserve utilization and hydrolytic enzyme activities in germinating seeds of sweet corn. **Pak. J. Bot**, v. 50, n. 1, p. 111–116, 2018. Disponível em: <https://www.pakbs.org/pjbot/papers/1531399104.pdf>. Acesso em 18 de out 2022.

CHOI, D. *et al.* Regulation of expansin gene expression affects growth and development in transgenic rice plants. **Plant Cell**, v. 15, n. 6, p. 1386–1398, 1 jun. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.011965>. Disponível em: <https://academic.oup.com/plcell/article/15/6/1386/6010054>. Acesso em 5 dez 2022.

CLEGG; K. M. The application of the anthrone reagent to the estimation of starch in cereals. **J. Sci. Food Agric**, v. 52, p. 210–212, 1956. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740070108>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.2740070108>. Acesso em 2 out 2022.

COELHO, C. M. M. *et al.* Potencial fisiológico em sementes de cultivares de feijão crioulo (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 3, p. 97–105, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000300011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/XGS978jRBGTWD58gK6vdZxr/abstract/?lang=pt>. Acesso em 10 out 2022.

COLEBROOK, E. H. *et al.* The role of gibberellin signaling in plant responses to abiotic stress. **Journal of Experimental Biology**, v. 217, n. 1, p. 67–75, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1777372>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32508222/>. Acesso em 10 dez 2022.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos**. Brasília, v. 10, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em 10 jan 2023.

COSGROVE, D. J. Plant expansins: Diversity and interactions with plant cell walls. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 25, p. 162–172, 1 jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2015.05.014>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26057089/>. Acesso em 14 nov 2022.

DAMARIS, R. N. *et al.* The Rice Alpha-Amylase, Conserved Regulator of Seed Maturation and Germination. **Int. J. Mol. Sci.** v, 20, n 450, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20020450>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/2/450>. Acesso em 14 mar 2022.

DELFINI, J. *et al.* Distinctness of Brazilian common bean cultivars with carioca and black grain by means of morphoagronomic and molecular descriptors. **PLoS ONE**, v. 12, n. 11, 1 nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188798>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0188798>. Acesso em 2 de nov 2022.

DELOUCHE, J. C.; BASKIN, C. C. Accelerated Aging Techniques for Predicting the Relative Storability of Seed Lots. **Seed Science and Technology**, p. 427–452, 1973. Disponível em: <https://scholarsjunction.msstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1009&context=seedtechpapers>. Acesso em 13 out 2022.

DHILLON, B. S. *et al.* Seed priming with potassium nitrate and gibberellic acid enhances the performance of dry direct seeded rice (*Oryza sativa* L.) in north-western India. **Agronomy**, v. 11, n. 5, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050849>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/5/849>. Acesso em 20 dez 2022.

DOMERGUE, J. B. *et al.* Seed quality and carbon primary metabolism. **Plant Cell and Environment**, v. 42, n. 10, p. 2776–2788, 1 out. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.13618>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31323691/>. Acesso em 5 dez 2022.

EBONE, L. A. *et al.* Soybean seed vigor: Uniformity and growth as key factors to improve yield. **Agronomy**, v. 10, n. 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10040545>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/4/545>. Acesso em 8 nov 2022.

EBONE, L. A.; CAVERZAN, A.; CHAVARRIA, G. Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 145, p. 34–42, 1 dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.10.028>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0981942819304292>. Acesso em 30 set 2022.

EHRHARDT-BROCARDI, N. C. M. **Qualidade fisiológica e proteínas de sementes de feijão durante o processo de germinação**. 2017. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) — Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

EHRHARDT-BROCARDI, N. C. M.; COELHO, C. M. M. Hydration patterns and physiologic quality of common bean seeds. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, p. 1791–1800, 1 jul. 2016. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n4p1791>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/308053441_Hydration_patterns_and_physiologic_quality_of_common_bean_seeds. Acesso em 7 nov 2022.

EHRHARDT-BROCARDI, N. C. M.; COELHO, C. M. M. Mobilization of seed storage proteins is crucial to high vigor in common bean seeds. **Ciência Rural**, v. 52, n. 2, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200894>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/GTGV3Y4D5hLSrXbWPBxtDQD/abstract/?lang=en>. Acesso em 10 nov 2022.

EL-SANATAWY, A. M. *et al.* Maize seedling establishment, grain yield and crop water productivity response to seed priming and irrigation management in a mediterranean arid environment. **Agronomy**, v. 11, n. 4, 1 abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11040756>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/4/756>. Acesso em 14 dez 2022.

ESPINDULA, M. C. *et al.* Efeitos de reguladores de crescimento na elongação do colmo de trigo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 109-116, 2010. DOI: https://doi.org/10.4025/actas_ciagron.v32i1.943. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/943>. Acesso em 14 mar 2023.

FAO, Food and agriculture organization of the united nations. **PHASEOLUS BEAN: Post-harvest Operations Organisation**. FAO, 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/3/av015e/av015e.pdf>. Acesso em: 10 nov 2022.

FERREIRA, G. **Dormência de sementes: provocações e reflexões**. 1ª edição. Botucatu. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2022. E-book. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/216916/ISBN9786589398110.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em 20 mar 2023.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/yjKLJXN9KysfmX6rvL93TSh>. Acesso em 2 out 2022.

FLEET, C. M.; SUN, T. P. A DELLAcate balance: The role of gibberellin in plant morphogenesis. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 8, n. 1, p. 77–85, fev. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2004.11.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369526604001670?via%3Dihub>. Acesso em 12 nov 2022.

FU, X.; HARBERD, N. P. Auxin promotes Arabidopsis root growth by modulating gibberellin response. **Nature**, v. 421, p. 740–743, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature01387>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12610625/>. Acesso em 08 jan 2022.

FU, Y. B.; AHMED, Z.; DIEDERICHSEN, A. Towards a better monitoring of seed ageing under ex situ seed conservation. **Conservation Physiology**, v. 3, n. 1, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1093/conphys/cov026>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4778438/>. Acesso em 4 dez 2022.

GARCIA-MARTINEZ, J. L.; RAPPAPORT, L. Physiology of gibberellin-induced elongation of epicotyl explants from *Vigna sinensis*. **Plant Growth Regulation**, v. 2, p. 197–208, 1984. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00124768>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00124768>. Acesso em 18 dez 2022.

GINDRI, D. M. *et al.* Seed quality of common bean accessions under organic and conventional farming systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 2, p. 152–160, 1 abr. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v47n2a189>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/g6cGX33hHyHB4pYtPRfchzp/abstract/?lang=en>. Acesso em 13 out 2022.

GRIFFITHS, J. *et al.* Genetic characterization and functional analysis of the GID1 gibberellin receptors in Arabidopsis. **Plant Cell**, v. 18, n. 12, p. 3399–3414, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.106.047415>. Disponível em: <https://academic.oup.com/plcell/article/18/12/3399/6115444>. Acesso em 16 nov 2022.

GÜL, V.; SEÇKIN, B. D.; TAŞÇI, E. Effects of Pre-Application with Gibberellic Acid on Germination of Soybean under Salt Stress. **Journal of stress physiology & biochemistry**, v. 15, n. 4, p. 86–92, 2019. Disponível em: http://www.jspb.ru/issues/2019/N4/JSPB_2019_4_86-92.pdf. Acesso em 19 nov 2022.

HEDDEN, P.; SPONSEL, V. A. Century of Gibberellin Research. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 34, n. 4, p. 740–760, 1 dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9546-1>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26523085/>. Acesso em 13 nov 2022.

HENNING, A. F. *et al.* Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 727–734, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000300026>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/m5VJ9yQRYTzhpVH4vTB9sbb/?lang=pt>. Acesso em 19 nov 2022.

HUERTAS, R. *et al.* Biofortification of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with iron and zinc: Achievements and challenges. **Food and Energy Security**, p. 1–27, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/fes3.406>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fes3.406>. Acesso em 17 nov 2022.

IBRAHIM, M. E. H. *et al.* Response of Some Wheat Varieties to Gibberellic Acid under Saline Conditions. **Agrosystems, Geosciences and Environment**, v. 2, n. 1, p. 1–7, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/age2019.01.0003>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/age2019.01.0003>. Acesso em 3 dez 2022.

JACOBSEN, J. V. *et al.* Roles for blue light, jasmonate and nitric oxide in the regulation of dormancy and germination in wheat grain (*Triticum aestivum* L.). **Planta**, v. 238, n. 1, p. 121–138, jul. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-013-1878-0>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23588419/>. Acesso em 10 nov 2022.

JAN, S. *et al.* Characterization of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germplasm for morphological and seed nutrient traits from Western Himalayas. **Legume Science**, v. 3, n. 2, 1 jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/leg3.86>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/leg3.86>. Acesso em 7 out 2022.

JAQUES, L. B. A. *et al.* Gibberellic acid utilization in seeds and plants of beans: effect on growth and seeds physiological quality. **Journal of Agricultural Science**; v. 11, n. 2; 2019. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n2p541>. Disponível em: <https://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/38129>. Acesso em 10 mar 2023.

JUSOH, M. *et al.* Gibberellin Promotes Cell Growth and Induces Changes in Fatty Acid Biosynthesis and Upregulates Fatty Acid Biosynthetic Genes in *Chlorella vulgaris* UMT-M1. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 188, n. 2, p. 450–459, 15 jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12010-018-02937-4>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30536033/>. Acesso em 9 nov 2022.

KARAVIDAS, I. *et al.* Agronomic Practices to Increase the Yield and Quality of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.): A Systematic Review. **Agronomy**, v. 12, n. 2, 1 fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12020271>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/2/271>. Acesso em 10 dez 2022.

KHAN, M. N. *et al.* Seed priming with gibberellic acid and melatonin in rapeseed: Consequences for improving yield and seed quality under drought and non-stress conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 156, 15 nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112850>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669020307676?via%3Dihub>. Acesso em 5 jan 2022.

KRZYŻANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; HENNING, A.A. **A alta qualidade da semente de soja**: fator importante para a produção da cultura. Embrapa Soja - Circular Técnica 136, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177391/1/CT136-online.pdf>. Acesso em 03 nov 2022.

KUCERA, B.; COHN, M. A.; LEUBNER-METZGER, G. Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. **Seed Science Research**, v. 15, n. 4, p. 281–307, dez. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1079/SSR2005218>. Disponível em:

<https://www.cambridge.org/core/journals/seed-science-research/article/abs/plant-hormone-interactions-during-seed-dormancy-release-and-germination/49880492C795ACB6909D6AB6C7FA80E7>. Acesso em 13 dez 2022.

KUMARI, N. *et al.* Effect of halo priming and hormonal priming on seed germination and seedling vigour in maize (*Zea mays* L) seeds. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 6, n. 4, p. 27–30, 2017. Disponível em:

<https://www.phytojournal.com/archives/2017/vol6issue4/PartA/6-3-165-555.pdf>. Acesso em 2 nov 2022.

LI, G. *et al.* GA₃ enhances root responsiveness to exogenous IAA by modulating auxin transport and signalling in Arabidopsis. **Plant Cell Reports**, v. 34, n. 3, p. 483–494, 1 mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-014-1728-y>. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25540118/>. Acesso em 17 nov 2022.

LI, Q. F. *et al.* Gibberellin recovers seed germination in rice with impaired brassinosteroid signalling. **Plant Science**, v. 293, 1 abr. 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110435>. Disponível em:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168945220300376#:~:text=GA%20can%20restore%20rice%20seed,roots%20during%20seed%20germination%20\(Fig. Acesso em 20 dez 2022.](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168945220300376#:~:text=GA%20can%20restore%20rice%20seed,roots%20during%20seed%20germination%20(Fig.)

LI, S. *et al.* Comparative Transcriptome Analysis Reveals the Mechanisms Underlying Differential Seed Vigor in Two Contrasting Peanut Genotypes. **Agriculture**, v. 12, n. 9, p. 1355, 1 set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12091355>. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2077-0472/12/9/1355>. Acesso em 3 dez 2022.

LIU, L. *et al.* Salinity inhibits rice seed germination by reducing alfa-amylase activity via decreased bioactive gibberellin content. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 5 mar. 2018. DOI:

<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00275>. Disponível em:

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.00275/full>. Acesso em 12 nov 2022.

LIU, Y. *et al.* Expression Patterns of ABA and GA metabolism genes and hormone levels during rice seed development and imbibition: A comparison of dormant and non-dormant rice cultivars. **Journal of Genetics and Genomics**, v. 41, n. 6, p. 327–338, 20 jun. 2014.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2014.04.004>. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24976122>. Acesso em 14 nov 2022.

LOS, F. G. B. *et al.* Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition. **Current Opinion in Food Science**, v. 19, p. 63–71, 1 fev. 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.010>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214799317301923>. Acesso em 6 out 2022.

MAJDA, C. *et al.* Nutri-priming as an efficient means to improve the agronomic performance of molybdenum in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Science of the Total Environment**, v. 661, p. 654–663, 15 abr. 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.188>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719302074>. Acesso em 8 jan 2023.

MAPA, Ministério da Agropecuária, Pecuária e Abastecimento. **Plano nacional de desenvolvimento da cadeia do feijão e pulses**. (2018) Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em 29 nov 2022.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C. *et al.* (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: **ABRATES**, 1999. p.3 (1-24).

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2015. 695p.

MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: An overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363–374, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/TCgVpMYmRWtGn6dQSSsQVbJ/>. Acesso em 5 out 2022.

MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, Francisco Carlos *et al.* (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020. cap. 4, p. 185-246.

MARES, D. *et al.* Gibberellins in developing wheat grains and their relationship to late maturity alfa-amylase (LMA). **Planta**, v. 255, n. 6, 1 jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-022-03899-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00425-022-03899-y>. Acesso em 10 out 2022.

MARINHO, J. L. *et al.* Pre-soaking with gibberellin in sweet corn seed lots with different levels of vigor. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 539–552, 1 fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n2p539>. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/40014>. Acesso em 4 jan 2022.

MAZID, M. Seed Priming Application of Gibberellic Acid on Growth, Biochemical, Yield Attributes and Protein Status of Chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. DCP 92-3). **International Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 3073, n. 1, p. 17–22, 2014. Disponível em: https://www.ripublication.com/irph/ijgeb-spl/ijgebv5n1_02.pdf. Acesso em 13 dez 2022.

MCCREADY, R. M. *et al.* Determination of Starch and Amylose in Vegetables Application to Peas. **Analytical Chemistry**, v. 22, p. 1156–1158, 1950. DOI: <https://doi.org/10.1021/ac60045a016>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ac60045a016>. Acesso em 11 set 2022.

MEDEIROS, A. D. DE *et al.* Assessing the physiological quality of common bean seeds using the Vigor-S® system and its relation to the accelerated aging test. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 2, p. 187–195, abr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n2211401>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/jss/a/SDxVTG6NJdgFtZdYWVCJcKq/?lang=en>. Acesso em 10 out 2022.

MICHELS, A. F. *et al.* Physiological quality of seeds from common landrace beans produced in the west and highlands of the state of Santa Catarina, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 620–632, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000300025>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/5fbfdSSWwD6MqTWqvTTkcrH/abstract/?lang=en&stop=next&format=html>. Acesso em 5 out 2022.

MILLER, G. L. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical chemistry**, v. 31, p. 426–428, 1959. DOI: <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ac60147a030>. Acesso em 10 set 2022.

MONDO, V. H. V.; NASCENTE, A. S.; NETO, M. O. C. Vigor de sementes de feijão-comum afetando a produtividade de grãos da cultura. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 4, p. 365–370, 1 out. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v38n4166814>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jss/a/mjPP4JXS4CWh3JzfHMcJbRN/abstract/?lang=pt>. Acesso em 10 out 2022.

MOUMITA *et al.* Exogenous application of gibberellic acid mitigates drought-induced damage in spring wheat. **Acta Agrobotanica**, v. 72, n. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5586/aa.1776>. Disponível em: <https://pbsociety.org.pl/journals/index.php/aa/article/view/aa.1776>. Acesso em 10 dez 2022.

MUKUNYA, D. M. Sources of resistance to bean anthracnose and bean rust in Kenya local dry beans (*Phaseolus vulgaris*). **Plant Molecular Biology**, v. 27, p. 79–85, 1975. Disponível em: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAIN759051871/pdf>. Acesso em 29 de nov 2022.

MUNDI, S.; ALUKO, R. E. Physicochemical and functional properties of kidney bean albumin and globulin protein fractions. **Food Research International**, v. 48, n. 1, p. 299–306, ago. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.04.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996912001366>. Acesso em 26 nov 2022.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap. 2, p. 1-24

NASSARY, E. K.; BAIJUKYA, F.; NDAKIDEMI, P. A. Intensification of common bean and maize production through rotations to improve food security for smallholder farmers. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 2, p. 1–8, 1 dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100040>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154320300211>. Acesso em 2 dez 2022.

NERLING, D.; COELHO, C. M. M.; BRÜMMER, A. Biochemical profiling and its role in physiological quality of maize seeds. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 1, p. 7–15, 1 jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v40n1172734>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jss/a/jMLqKr35MYBbHbjfJdqxPH/?lang=en>. Acesso em 2 dez 2022.

OLIVEIRA, G. E. *et al.* Relationship among physiological quality, heterosis, and amylase gene expression in maize seeds. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 3, p. 8623–8633, 31 jul. 2015. DOI: <https://doi.org/10.4238/2015.31.julho.10>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26345793/>. Acesso em 27 nov 2022.

OLIVEIRA, T. F. *et al.* Reserve mobilization in soybean seeds under water restriction after storage. **Journal of Seed Science**, v. 42, p. 1–8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v42231384>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jss/a/MqGM9V4znMvyGFkXhpstRBt/>. Acesso em 13 nov 2022.

ORNELLAS, F. L. S. *et al.* Gene expression, biochemical and physiological activities in evaluating melon seed vigor through ethanol release. **Scientia Horticulturae**, v. 261, 5 fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108884>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423819307708>. Acesso em 26 dez 2022.

PADILHA, M. S. *et al.* Seed vigor in reserve mobilization and wheat seedling formation. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 17, n. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v17i3a1477-Protocol1477>. Disponível em: <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=09da7a2a-edb5-447f-9338-b0eb4f9cfff%40redis>. Acesso em 2 dez 2022.

PADILHA, M. S.; COELHO, C. M. M.; SOMMER, Â. S. Seed vigor, genotype and proline in common bean seedling formation under drought and saline stress. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220056>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/ZkVJZN4Vn7WVXxxfKdzhFBy/>. Acesso em 20 dez 2022.

PADILHA, M. S.; COELHO, C. M. M.; EHRHARDT-BROCARD, N. C. M. Vigor and alpha-amylase activity in common bean seeds under salt stress conditions. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 6, p. 3633–3650, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n6SUPL2p3633>. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/43656>. Acesso em 7 nov 2022.

PADILHA, M. S.; COELHO, C. M. M.; ANDRADE, G. C. DE. Seed reserve mobilization evaluation for selection of high-vigor common bean cultivars. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 4, p. 927–935, 1 out. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-1252020v33n407rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/LfSZ55Hb9zfmhkbXjp5PRdb/?lang=en>. Acesso em 5 dez 2022.

PAPARELLI, E. *et al.* Nighttime sugar starvation orchestrates gibberellin biosynthesis and plant growth in Arabidopsis. **Plant Cell**, v. 25, n. 10, p. 3760–3769, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.113.115519>. Disponível em: <https://academic.oup.com/plcell/article/25/10/3760/6099529>. Acesso em 21 dez 2022.

PEDÓ, T. *et al.* Crescimento de plantas e vigor de sementes de feijão em resposta à aplicação exógena de ácido giberélico. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 757–770, jul. 2018. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA17169>. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16739>. Acesso em 7 nov 2022.

PEREIRA, T. *et al.* Diversidade no teor de nutrientes em grãos de feijão crioulo no estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 477–485, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i3.6328>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/P7pg9Dg8hr6kG8zgpXVGwkm/?lang=pt>. Acesso em 17 dez 2022.

PEREIRA, W. A.; PEREIRA, S. M. A.; DIAS, D. C. F. DOS S. Dynamics of reserves of soybean seeds during the development of seedlings of different commercial cultivars. **Journal of Seed Science**, v. 37, n. 1, p. 63–69, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v37n1142202>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jss/a/WGkCrv6yKx5cWMc4q9mt6VM/?lang=en>. Acesso em 5 jan 2023.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: UFPel, 2019. p. 355- 405.

PETRY, N. *et al.* Review: The potential of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) as a vehicle for iron biofortification. **Nutrients**, v. 7, n. 2, p. 1144–1173, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu7021144>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6643/7/2/1144>. Acesso em 28 out 2022.

PHILIPO, M.; NDAKIDEMI, P. A.; MBEGA, E. R. Environmental and genotypes influence on seed iron and zinc levels of landraces and improved varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Tanzania. **Ecological Genetics and Genomics**, v. 15, 1 maio 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egg.2020.100056>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2405985420300057>. Acesso em 12 dez 2022.

PICOLI, M. C. A. *et al.* Big earth observation time series analysis for monitoring Brazilian agriculture. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 145, p. 328–339, 1 nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.08.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271618302260>. Acesso em 13 dez 2022.

PIO, R. *et al.* Concentrações de ácido giberélico e períodos de estratificação na emergência do porta-enxerto de marmeleiro ‘Japonês’ (*Chaenomeles sinensis*). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, p. 125–131, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000400014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/c6MdSnpGMR8fLVrcNrxqm7K/?lang=pt>. Acesso em 2 jan 2023.

PUNIA, S. *et al.* Kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) starch: A review. **Legume Science**, v. 2, n. 3, 1 set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/leg3.52>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/leg3.52>. Acesso em 2 out 2022.

RAFIQUE, M. *et al.* The combined effects of gibberellic acid and rhizobium on growth, yield and nutritional status in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Agronomy**, v. 11, n. 1, 1 jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11010105>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/1/105>. Acesso em 2 jan 2023.

RAGNI, L. *et al.* Mobile gibberellin directly stimulates Arabidopsis hypocotyl xylem expansion. **Plant Cell**, v. 23, n. 4, p. 1322–1326, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.111.084020>. Disponível em: <https://academic.oup.com/plcell/article/23/4/1322/6097655>. Acesso em 20 dez 2022.

REED, R. C.; BRADFORD, K. J.; KHANDAY, I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. **Heredity**, v. 128, n. 6, p. 450–459, 1 jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41437-022-00497-2>. Acesso em 10 dez 2022.

REIS, V. U. V. *et al.* Vigor of maize seeds and its effects on plant stand establishment, crop development and grain yield. **Journal of Seed Science**, v. 44, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v44257527>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jss/a/SyMNbcLr6wJF9w4BrZBvwTf/?lang=en>. Acesso em 10 dez 2022.

RODRÍGUEZ, L. *et al.* Role of Phaseolus vulgaris L. in the Prevention of Cardiovascular Diseases-Cardioprotective Potential of Bioactive Compounds. **Plants**, v. 11, n. 2, 1 jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11020186>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35050073/>. Acesso em 22 dez 2022.

ROHR, L. A. *et al.* Soybean seeds treated with zinc evaluated by X-ray micro-fluorescence spectroscopy. **Scientia Agricola**, v. 80, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2021-0131>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/6nPCFb9VV88GmTJpx6yK9Hh/>. Acesso em 12 dez 2022.

SÁ, A. G. A.; MORENO, Y. M. F.; CARCIOFI, B. A. M. Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. **Trends in Food Science and Technology**, v. 97, p. 170–184, 1 mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224419308994>. Acesso em 3 dez 2022.

SAADAT, T. *et al.* The effect of priming deterioration on the activity of antioxidant enzymes and the mobility of seed reserves in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Sadri. **Iranian Journal of Seed Science and Technology**, v. 8, p. 19–32, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22034/IJSST.2018.116851.1154>. Disponível em: https://ijsst.areeo.ac.ir/article_121001.html?lang=en. Acesso em 3 jan 2022.

SAIBO, N. J. M. *et al.* Growth and stomata development of Arabidopsis hypocotyls are controlled by gibberellins and modulated by ethylene and auxins. **Plant Journal**, v. 33, n. 6, p. 989–1000, mar. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.2003.01684.x>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12631324/>. Acesso em 20 nov 2022.

SCHMITT, M. R.; SKADSEN, R. W.; BUDDE, A. D. Protein mobilization and malting-specific proteinase expression during barley germination. **Journal of Cereal Science**, v. 58, n. 2, p. 324–332, set. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.05.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S073352101300091X>. Acesso em 3 dez 2022.

SENA, D. V. DOS A.; ALVES, E. U.; DE MEDEIROS, D. S. Testes de vigor para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de milho cv. ‘Sertanejo’. **Ciência Rural**, v. 47, n. 3, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20120751>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/FgRhcYFqFFXrkcq3S8s6MZm/?lang=pt>. Acesso em 6 nov 2022.

SHAHZAD, K. *et al.* Exógenously Applied Gibberellic Acid Enhances Growth and Salinity Stress Tolerance of Maize through Modulating the Morpho-Physiological, Biochemical and Molecular Attributes. **Biomolecules**, v. 11, n. 1005, p. 1-17, jul 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom11071005>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34356629/>. Acesso em 19 dez 2022.

SHI, H. *et al.* QTL mapping and candidate gene analysis of seed vigor-related traits during artificial aging in wheat (*Triticum aestivum*). **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 1 dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75778-z>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-75778-z>. Acesso em 23 dez 2022.

SKADSEN; R. W. Physiological and molecular genetic mechanisms regulating hydrolytic enzyme gene expression in cereal grains. **Physiologia plantarum**, v. 104, p. 486–502, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1040326.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1034/j.1399-3054.1998.1040326.x>. Acesso em 24 dez 2022.

SOLTANI, A.; GHOLIPOOR, M.; ZEINALI, E. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 55, n. 1–2, p. 195–200, jan 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.10.012>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847204001534>. Acesso em 6 out 2022.

SOUZA, C. A. *et al.* Influência do ácido giberélico sobre a arquitetura de plantas de feijão no início de desenvolvimento. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 325–332, 2010. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagr.v32i2.3721>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/MCQjqzPvbHXx8hSLB4Gt7PL/?lang=pt>. Acesso em 10 out 2022.

STABILE, M. C. C. *et al.* Solving Brazil’s land use puzzle: Increasing production and slowing Amazon deforestation. **Land Use Policy**, v. 91, 1 fev. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104362>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837719309809>. Acesso em 12 dez 2022.

SUNMONU, T. O.; KULKARNI, M. G.; VAN STADEN, J. Smoke-water, karrikinolide and gibberellic acid stimulate growth in bean and maize seedlings by efficient starch mobilization and suppression of oxidative stress. **South African Journal of Botany**, v. 102, p. 4–11, 1 jan. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.06.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629915003397>. Acesso em 27 dez 2022.

TAIZ, Lincoln *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Artmed Editora, p. 8758, 2017.

TAN-WILSON, A. L.; WILSON, K. A. Mobilization of seed protein reserves. **Physiologia Plantarum**, v. 145, n. 1, p. 140–153, maio 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2011.01535.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1399-3054.2011.01535.x>. Acesso em 16 nov 2022.

TAVARES, L. C. *et al.* Estratégias de marketing na área de sementes. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 83, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1808-1657000882014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aib/a/XfY7nZmDDNKwS65dZngSPjd/abstract/?lang=pt>. Acesso em 13 nov 2022.

TOLEDO, M. Z. *et al.* Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tarde de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 124–133, 2009. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/3486>. Acesso em: 15 dez. 202.

TONG, J. *et al.* Identification, genetic characterization, GA response and molecular mapping of Sdt97: a dominant mutant gene conferring semi-dwarfism in rice (*Oryza sativa* L.). **Genet. Res., Camb**, v. 89, pp. 221–230, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0016672307009020>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18208628/>. Acesso em 10 mar 2023.

TUAN, P. A. *et al.* Molecular mechanisms underlying abscisic acid/gibberellin balance in the control of seed dormancy and germination in cereals. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 23 de maio de 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00668>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.00668/full>. Acesso em 6 nov 2022.

TUTTLE, K. M. *et al.* Grain dormancy loss is associated with changes in ABA and GA sensitivity and hormone accumulation in bread wheat, *Triticum aestivum* (L.). **Seed Science Research**, v. 25, n. 2, p. 179–193, 8 jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258515000057>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/seed-science-research/article/abs/grain-dormancy-loss-is-associated-with-changes-in-aba-and-ga-sensitivity-and-hormone-accumulation-in-bread-wheat-triticum-aestivum-l/43C905461AC52E25F04C258D6041CB1B>. Acesso em 2 nov 2022.

UEBERSAX, M. A. *et al.* Dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a vital component of sustainable agriculture and food security—A review. **Legume Science**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/leg3.155>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/leg3.155>. Acesso em 1 out 2022.

URBANOVA, T.; LEUBNER-METZGER, G. Gibberellins and Seed Germination. **Annual Plant Reviews: The Gibberellins**, v. 49, p. 253–284, 14 abr. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119210436.ch9>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119210436.ch9>. Acesso em 10 out 2022.

WANG, G. L. *et al.* Exogenous gibberellin altered morphology, anatomic and transcriptional regulatory networks of hormones in carrot root and shoot. **BMC Plant Biology**, v. 15, n. 1, 15 dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0679-y>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26667233/>. Acesso em 1 dez 2022.

- WANG, X. *et al.* Effects of gibberellic acid application after anthesis on seed vigor of indica hybrid rice (*Oryza sativa* L.). **Agronomy**, v. 9, n. 12, 9 dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9120861>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/12/861>. Acesso em 22 dez 2023.
- WANG, Y. *et al.* Reduced bioactive gibberellin content in rice seeds under low temperature leads to decreased sugar consumption and low seed germination rates. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 133, p. 1–10, 1 dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.020>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30368115/>. Acesso em 13 nov 2022.
- WIMALASEKERA, R. Role of seed quality in improving crop yields. **Crop Production and Global Environmental Issues**, p. 153–168, 1 jan. 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-23162-4_6. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-23162-4_6. Acesso em 10 nov 2022.
- XIONG, M. *et al.* Brassinosteroid and gibberellin coordinate rice seed germination and embryo growth by regulating glutelin mobilization. **Crop Journal**, v. 9, n. 5, p. 1039–1048, 1 out. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.11.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214514121000039>. Acesso em 14 nov 2022.
- YANO, K. *et al.* Comprehensive gene expression analysis of rice aleurone cells: Probing the existence of an alternative gibberellin receptor. **Plant Physiology**, v. 167, n. 2, p. 531–544, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.114.247940>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25511432/>. Acesso em 2 jan 2023.
- YU, S. M.; LO, S. F.; HO, T. H. D. Source-Sink Communication: Regulated by Hormone, Nutrient, and Stress Cross-Signaling. **Plant Science**, 1 dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.10.009>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26603980/>. Acesso em 22 nov 2022.
- ZHOU, W. *et al.* Flooding represses soybean seed germination by mediating anaerobic respiration, glycometabolism and phytohormones biosynthesis. **Environmental and Experimental Botany**, v. 188, 1 ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104491>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847221001210>. Acesso em 3 nov 2022.
- ZUCARELI, C. *et al.* Physiologic quality of carioca bean seeds stored in different environments. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 803–809, 1 ago. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p803-809>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/VkLhpbw7bKFNtxNcZPbjhcG/>. Acesso em 15 nov 2022.

APÊNDICE

Tabela 1 - Grau de liberdade e quadrados médios obtidos da análise de variância entre os fatores cultivar, dia e tratamento para as características fisiológicas e de mobilização das reservas das sementes

FV	GL	CR	CH	CE	CP	MSRC	MSP	MSR	MSH	MSE	URS	TURS	TMRS
C	1	2,3*	1,2*	0,1*	0,0 ns	15714,4*	0,3 ns	0,7 ns	7,5*	1,7*	1419,2 *	0,6 ns	234,0*
D	2	91,2*	199,2*	1,0*	608,9*	13303,3*	6989,3*	89,3*	4271,0*	80,1*	11589,1*	3486,3*	2153,6*
T	1	0,8 ns	18,9*	0,2*	15,5*	740,3*	80,1*	0,1 ns	88,0*	0,0 ns	275,5*	47,5*	16,5*
C*D	2	2,6*	0,0 ns	0,0*	1,7 ns	475,6*	7,8*	1,2*	2,9 ns	0,6*	151,8*	1,5 ns	26,4*
C*T	1	24,9*	0,3 ns	0,0 ns	31,4*	2060,6*	184,1*	21,3*	25,5*	15,2*	1210,0*	332,3*	48,2*
D*T	2	0,6 ns	7,6*	0,1*	4,8*	81,0*	12,5*	0,4 ns	16,2*	0,8*	195,1*	46,1*	1,9 ns
C*D*T	2	3,0*	1,6*	0,0 ns	9,0*	146,8*	73,9*	7,5*	16,2*	3,9*	224,1*	55,0*	20,7*
ERRO	36	0,5	0,2	0	0,6	12,9	1,6	0,3	1,3	0,2	14,2	4,5	0,5
MÉD		7,1	5,5	0,3	12,9	140,5	32,2	5,5	23,6	3,2	43,5	23,8	17,9
CV (%)		10,5	7,4	10,7	5,8	2,6	4	10	4,9	12,5	8,7	8,9	3,8

Legenda: Fonte de variação – FV; Cultivar – C; Dia – D; Tratamento – T; Grau de liberdade – GL; Comprimento da raiz - CR; Comprimento do hipocótilo - CH; Comprimento do epicótilo - CE; Comprimento da plântula - CP; Massa seca remanescente no cotilédone - MSRC; Massa seca da plântula - MSP; Massa seca da raiz – MSR; Massa seca do hipocótilo – MSH; Massa seca de epicótilo – MSE; Uso das reservas da semente - URS; Taxa de uso das reservas da semente - TURS; Taxa de mobilização das reservas da semente - TMRS. ns, *: não significativo e significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade do erro, respectivamente.

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

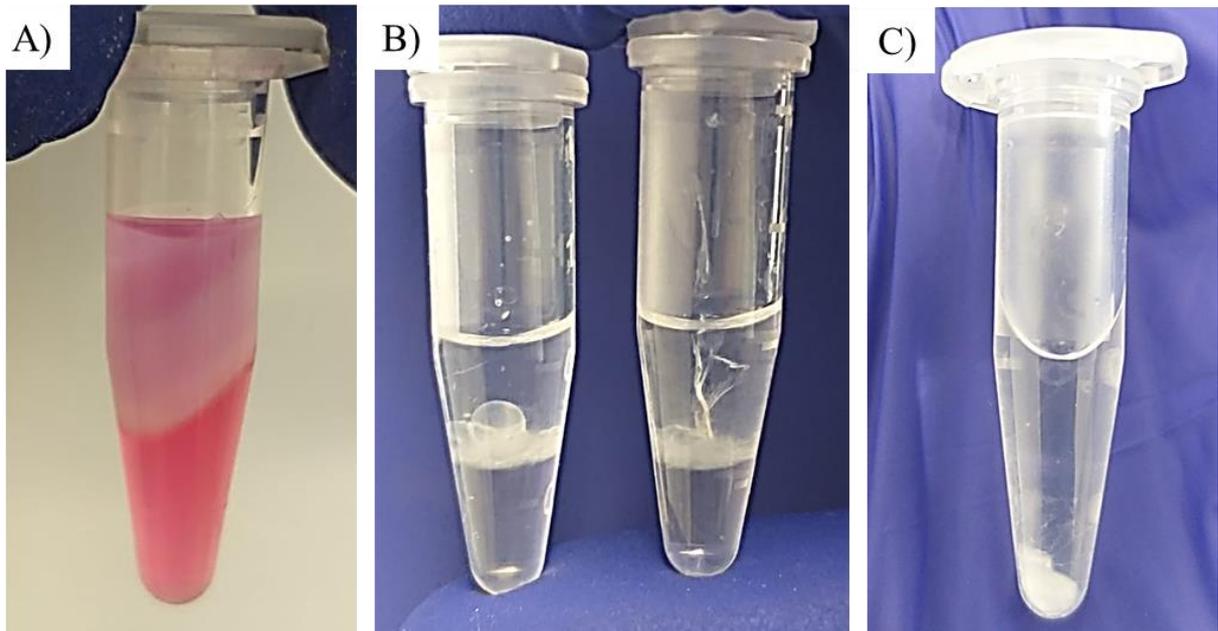
Tabela 2 - Grau de liberdade e quadrados médios obtidos da análise de variância entre os fatores cultivar, dia e tratamento para as características bioquímicas

FV	GL	AST	AMI	ALF	PRO
C	1	0,022 ns	23,937 ns	0,001 ns	1,254 ns
D	3	0,141 ns	8077,908 *	0,261 *	9924,948 *
T	1	0,003 *	163,776 *	0,000 ns	0,366 ns
C * D	3	0,002 *	27,206 ns	0,000 ns	12,718 ns
C * T	1	0,001 *	448,592 *	0,003 *	606,144 *
D * T	3	0,002 *	35,664 ns	0,002 *	33,370 *
C * D * T	3	0,002 *	156,790 *	0,003 *	112,643 ns
ERRO	36	0,002	22,710	0,000	18,203
MÉDIA		0,52	73,32	0,11	70,34
CV (%)		8,22	6,50	10,40	6,07

Legenda: Fonte de variação – FV; Cultivar – C; Dia – D; Tratamento – T; Grau de liberdade – GL; Açúcar solúvel total - AST; Taxa de mobilização de amido - AMI; Atividade de alfa-amilase – ALF; Taxa de redução de proteína – PRO. ns, *: não significativo e significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade do erro, respectivamente.

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 1 - Etapas da extração do RNA pelo método do TRIzol®



Legenda: A): Formação de três fases após a adição de TRIzol e clorofórmio na amostra, sendo uma fase aquosa menos densa, contendo RNA (interesse), fase Intermediária contendo DNA e fase orgânica mais densa contendo as proteínas celulares; B) Precipitação do RNA pela adição de isopropanol; C) Lavagem com etanol 75% para limpeza do pellet.

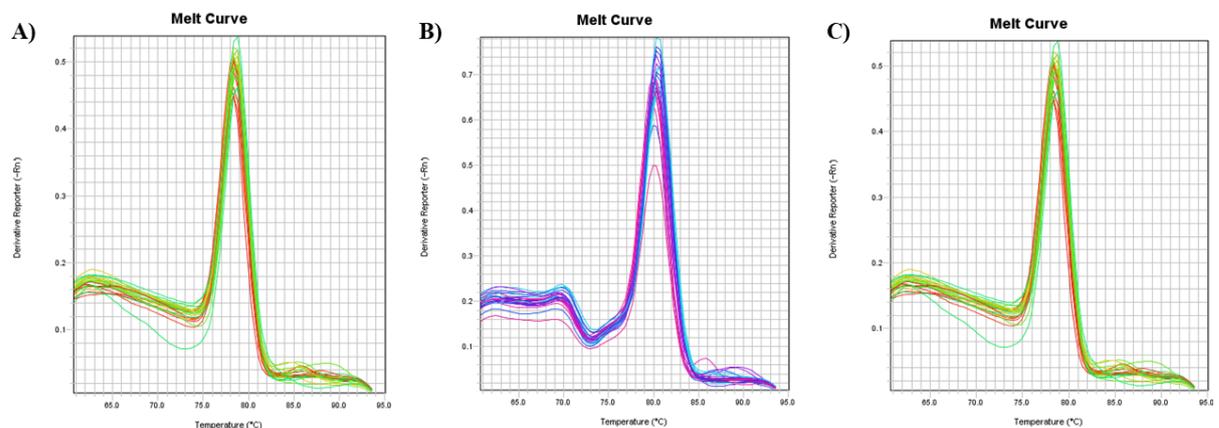
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tabela 3 - Sequências de primers usadas para avaliação molecular.

Gene	ID GenBank	Forward primer	Reverse primer
Actina	KF033666.1	GTTCCCTGGTATTGCGGACA	AGCCACCAATCCAGACACTG
Alfa-amilase	AB015131.1	AAGGGGATAAAGTGCTGGC	AATCAAGGCGTGCATCTGGA
Tubulina	MT292610.1	TCGTGGGTTTCAGCAGTATGT	GCAAAGGCAGTCAAGTATCGG

Fonte: Elaborado pela autora, 2023

Figura 2 - Curva de dissociação ou de *Melting* dos fragmentos gerados a partir do gene alvo e as referências endógenas usando as cultivares BAF44 e BAF55 na presença ou ausência de GA₃.



Legenda: A): gene da alfa-amilase; B) gene da actina; C) gene da tubulina.

Fonte: Elaborado pela autora, 2022

