



## **CURSO DE BACHAREL EM AGRONOMIA**

# **SEMENTES ESVERDEADAS COMPROMETEM, DE FATO, A QUALIDADE DA SOJA?**

**Gessica Mendes da Costa**

**Rio Verde, GO  
2025**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE.  
BACHAREL EM AGRONOMIA**

**SEMENTES ESVERDEADAS COMPROMETEM, DE FATO, A  
QUALIDADE DA SOJA?**

**GESSICA MENDES DA COSTA**

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador Prof. Dr. Anísio Correa da Rocha

Rio Verde – GO  
Agosto, 2025

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar, em primeiro lugar, minha gratidão a Deus. Agradeço profundamente aos meus pais, Genessi José da Costa e Antonia Aparecida Mendes, por todo o apoio e incentivo na decisão de iniciar uma nova graduação. Deixar minha primeira área de formação e começar do zero em Agronomia foi um grande desafio, e sem o suporte deles, esse sonho não teria se tornado realidade.

Agradeço de coração à minha irmã, Andréia Mendes da Costa, que esteve ao meu lado desde o início desta caminhada. Ela conhecia meu sonho de cursar Agronomia e tomou a iniciativa de me inscrever no curso sem que eu soubesse. Esse gesto de carinho e apoio tornou possível a concretização de um objetivo que, até então, parecia distante. Sou grata por seu apoio constante e por sempre me motivar a não desistir. O que antes parecia inalcançável, hoje é uma vitória que conquistamos juntas.

Sou profundamente grata ao meu primo, Jeviny Lopes Mendes, pelos sábios conselhos, que me ajudaram a manter a serenidade nos momentos desafiadores. Sua visão otimista e tranquila me ensinou a acreditar que, no fim, tudo dá certo.

Expresso minha profunda gratidão ao meu orientador, Dr. Anísio Correa da Rocha, não apenas pelo suporte e orientação ao longo do meu Trabalho de Conclusão de Curso, mas também pela oportunidade de integrar sua equipe no Laboratório Solotech Cerrado Ltda - ME. A confiança que depositou em mim, seus ensinamentos e a troca de experiências proporcionaram um aprendizado inestimável, pelo qual serei eternamente grata.

Também quero expressar minha gratidão ao Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, e a todos os colaboradores, especialmente ao professor Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues, pela oportunidade de integrar seu grupo de pesquisa no Laboratório de Química Agrícola, onde aprimorei meus conhecimentos em análise de solo. Assim como também quero agradecer ao grupo de pesquisa do Laboratório de Estudos Aplicados em Fisiologia Vegetal (LEAFv), coordenado pelo professor Dr. Paulo Eduardo de Menezes Silva, onde tive a oportunidade de trabalhar com a variabilidade na condutância mínima foliar em diferentes espécies do gênero *Coffea*. Agradeço, ainda, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a execução deste trabalho e para minha formação acadêmica.

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

C838s Costa, Gessica Mendes da  
Sementes esverdeadas comprometem, de fato, a qualidade da soja?  
/ Gessica Mendes da Costa. Rio Verde - GO 2025.

49f. il.

Orientador: Prof. Dr. Anísio Correa da Rocha.

Monografia (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de  
0220024 - Bacharelado em Agronomia - Integral - Rio Verde (Campus  
Rio Verde).

1. *Glycine max*. 2. Sementes verdes. 3. Degradação da clorofila.  
4. Qualidade fisiológica. 5. Estresse abiótico. I. Título.

# TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

## IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

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

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Gessica Mendes da Costa

Matrícula:

2021102200240563

Título do trabalho:

Sementes esverdeadas comprometem, defato, a qualidade da soja?

## RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:   /

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

## DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente  
 GESSICA MENDES DA COSTA  
Data: 23/08/2025 09:39:05-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rio Verde - GO

Local

/

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente  
 ANISIO CORREA DA ROCHA  
Data: 23/08/2025 14:27:19-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



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

Ata nº 62/2025 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

### **ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO**

Ao(s) 21 dia(s) do mês de agosto de 2025, às 8:00 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Anisio Correa da Rocha (orientador), José Weselli de Sá Andrade (membro), e Pelo Servidor Me. José Flávio Neto (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado "SEMENTES ESVERDEADAS COMPROMETEM, DE FATO, A QUALIDADE DA SOJA?" da estudante Géssica Mendes da Costa, Matrícula nº 2021102200240563 do Curso de Bacharelado em Agronomia do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

*(Assinado Eletronicamente)*

Anisio Correa da Rocha  
Orientador

*(Assinado Eletronicamente)*

José Weselli de Sá Andrade  
Membro

*(Assinado Eletronicamente)*

José Flávio Neto

#### **Observação:**

( ) O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Anisio Correa da Rocha**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/08/2025 09:26:24.
- **Jose Weselli de Sa Andrade**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/08/2025 09:31:52.
- **Jose Flavio Neto**, ENGENHEIRO AGRONOMO, em 21/08/2025 09:33:19.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 21/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

**Código Verificador:** 734907

**Código de Autenticação:** 1a93b2acf5



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

## RESUMO

COSTA, Gessica Mendes da. **Sementes esverdeadas comprometem, de fato, a qualidade da soja?**. 2025. 39p Monografia (Curso Bacharelado de Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2025.

A qualidade fisiológica das sementes de soja é um fator essencial para o sucesso da produção agrícola, sendo diretamente influenciada por aspectos ambientais, genéticos, fisiológicos e operacionais. Um dos principais entraves enfrentados na cadeia produtiva da soja é a presença de sementes esverdeadas, caracterizadas pela retenção de clorofila nos cotilédones, geralmente associada a estresses térmicos e hídricos nas fases finais do desenvolvimento da planta. Este trabalho, por meio de revisão de literatura e relato de experiência, discute as causas, os mecanismos fisiológicos envolvidos, os efeitos sobre o vigor e a longevidade das sementes e as possíveis estratégias de mitigação. Fatores como o uso inadequado de dessecantes, colheita antecipada, secagem acelerada e manejo nutricional deficiente estão entre os principais contribuintes para o esverdeamento. Além disso, abordagens práticas, como a classificação física durante o beneficiamento e o uso de ferramentas tecnológicas, mostram-se eficazes para minimizar os impactos. Os resultados reforçam a necessidade de compreender a fisiologia da degradação da clorofila e adotar estratégias integradas de manejo que assegurem a produção de sementes de alta qualidade.

**Palavras-chave:** *Glycine max*, sementes verdes, degradação da clorofila, qualidade fisiológica e estresse abiótico.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Principais entraves fisiológicos nos estádios finais do desenvolvimento da soja relacionados à retenção de clorofila. ....	20
<b>Figura 2.</b> Destinação de cargas de soja conforme o percentual de sementes esverdeadas em UBS. ....	26
<b>Figura 3.</b> Esverdeamento de sementes de soja: causas, implicações e estratégias de manejo.	33

## SUMÁRIO

Páginas

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	13
2.1 O verde que prejudica: Como o desenvolvimento da planta influencia a formação de sementes esverdeadas .....	13
2.2 Como a coloração verde afeta a produção e o vigor: Um problema subestimado? ....	22
2.3 Verde não é vida: Quando o pigmento esconde um distúrbio fisiológico e compromete a qualidade das sementes.....	29
2.4 Esverdeamento: Novos insights e perspectivas futuras, o que está por trás do problema e como enfrentá-lo? .....	34
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	35
3 REFERÊNCIAS .....	35

## 1 INTRODUÇÃO

Antes de tratar especificamente sobre o problema das sementes esverdeadas, é importante contextualizar o cenário atual da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no Brasil, que hoje se destaca como a principal *commodity* agrícola, com papel estratégico na balança comercial e na segurança alimentar global (Anjos; Froehlich; Caldas, 2024; Enge et al., 2024). Segundo dados da Conab (2025), a produção total de grãos na safra 2024/25 foi estimada em 330,3 milhões de toneladas. Desse total, a soja responde por 144,9 milhões de toneladas (IBGE, 2025). No Centro-Oeste, essa oleaginosa ocupa uma área de aproximadamente 15,6 milhões de hectares, o que corresponde a cerca de 90% da agricultura na região (Dantas, 2021). Seu sucesso está diretamente atrelado à disponibilidade de sementes de alta qualidade, com elevado poder germinativo e vigor. Para atender a essa demanda, exige que o mercado sementeiro ofereça aos produtores sementes de excelente qualidade (Pelissari e Coimbra, 2023). Desse modo, torna-se imprescindível compreender e mitigar os fatores que afetam a qualidade fisiológica das sementes, especialmente aqueles relacionados à presença de sementes esverdeadas.

Dada a importância da soja, é crucial identificar os fatores que comprometem sua qualidade, especialmente no que se refere à qualidade fisiológica. Essa característica constitui um dos pilares essenciais para o sucesso da agricultura moderna, influenciando diretamente a emergência de plântulas vigorosas, o estabelecimento adequado da lavoura e, conseqüentemente, o rendimento das culturas (Arruda et al., 2016). No caso da soja, diversos fatores podem comprometer essa qualidade, entre os quais se destaca a ocorrência de sementes esverdeadas (Lima, 2021). Essas sementes são caracterizadas pela retenção de clorofila em seus tecidos, especialmente nos cotilédones, e estão frequentemente associadas a estresses abióticos, como déficit hídrico e altas temperaturas durante a fase de maturação (Capelaro, 2022). Isso ocorre porque a clorofila é uma molécula de difícil degradação, especialmente quando o processo enzimático responsável por sua quebra é interrompido antes de ser concluído (Shackira et al., 2022). Como consequência, a exposição ao estresse térmico e hídrico compromete o vigor, a germinação e a capacidade de armazenamento dessas sementes (Teixeira et al., 2020). No entanto, apesar dos efeitos negativos associados à permanência de clorofila, no Brasil é permitida uma tolerância de até 9% de sementes esverdeadas em lotes comerciais, sem que comprometa a qualidade durante o armazenamento (Ferrari; Silva; Fidelis, 2023).

Diante desse cenário, a presença de sementes esverdeadas não só reflete a exposição das plantas a estresses ambientais, mas também deixa claro que os efeitos dessa anomalia vão além da aparência externa (Teixeira et al., 2020; Capelaro, 2022), o que é alarmante no contexto atual, sobretudo diante das mudanças climáticas em curso e da expectativa de que esses ventos se intensifiquem nos próximos anos (IPCC, 2022), que impactam diretamente o desempenho fisiológico das sementes (Ferrari; Silva; Fidelis, 2023). Nos últimos anos, a frequência e intensidade desse fenômeno têm gerado crescente preocupação em toda cadeia produtiva, uma vez que sementes esverdeadas apresentam elevados índices de deterioração e menor viabilidade fisiológica, o que pode comprometer o estabelecimento inicial da lavoura e reduzir a produtividade (Dantas, 2021). Essa situação é ainda moldada por fatores socioeconômicos, como o crescimento populacional, que impõe uma demanda cada vez maior por alimentos, que exige uma produção agrícola mais eficiente (Lemes e Catão, 2024).

Tais anormalidades repercutem em toda a cadeia de suprimentos da soja, o que, sem sombra de dúvida, torna indispensável sua discussão, à medida que as mudanças climáticas globais se intensificam e os estresses ambientais se tornam mais imprevisíveis (Ahluwalia; Singh; Bhatia, 2021). Com base no exposto, propõe-se a seguinte hipótese: A presença de sementes verdes em lotes comerciais de soja representa um fator limitante para o desempenho fisiológico das sementes e, conseqüentemente, para a produtividade da cultura, sendo agravada por condições climáticas adversas e falhas no manejo durante a maturação e colheita. Assim, este trabalho tem como objetivo reunir e discutir, por meio de uma revisão de literatura, os principais fatores associados à formação de sementes esverdeadas em soja, suas causas, conseqüências e estratégias de mitigação, com foco nos aspectos fisiológicos, genéticos, ambientais e tecnológicos envolvidos na produção e manutenção da qualidade das sementes.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 O verde que prejudica: Como o desenvolvimento da planta influencia a formação de sementes esverdeadas**

Neste tópico, serão abordados primeiramente os aspectos fisiológicos da clorofila na planta-mãe, destacando seu papel no desenvolvimento e na formação das sementes. Em seguida, com base nesse entendimento, serão discutidos os processos relacionados ao

esverdeamento das sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Para isso, é necessário explicar onde a biossíntese de clorofila se insere no metabolismo primário das plantas.

Para iniciar às discussões, é importante compreender como ocorre a biossíntese de clorofila, que compõe as vias metabólicas primárias, responsáveis por funções vitais dentro das células, como a própria síntese de clorofila em si, além da fotossíntese, respiração, síntese da parede celular e o transporte de solutos. Essas rotas são fundamentais para o crescimento e desenvolvimento vegetal, pois fornecem energia e intermediários metabólicos. Como exemplo de produto do metabolismo primário, pode ser citado os pigmentos, como a própria clorofila, objeto de estudo desta pesquisa que são fundamentais para a captação de luz e participação direta na cadeia de transporte de elétrons durante o processo fotossintético (Taiz e Zeiger, 2017). Por outro lado, o metabolismo secundário se origina a partir do metabolismo primário e gera compostos que, embora não essenciais ao crescimento, têm papel importante na adaptação e defesa da planta. Nesse contexto, a ocorrência de sementes esverdeadas está associada ao bloqueio da degradação da clorofila na planta-mãe. Isso leva ao acúmulo de clorofila residual e de compostos do metabolismo secundário, incluindo substâncias antioxidantes. Esse processo é intensificado por estresses como o déficit hídrico e as altas temperaturas, que comprometem a maturação fisiológica e afetam negativamente a qualidade das sementes (França-Neto et al., 2012; Mandarino, 2012; Enge et al., 2024).

Para compreender melhor esse acúmulo anormal de clorofila nas sementes, é necessário considerar como essa molécula é normalmente reciclada ao longo do ciclo da planta. Quando alguns órgãos entram em senescência e são liberados, ocorre a reabsorção da clorofila. Isso permite que a planta reutilize seus componentes em outros tecidos, principalmente na formação de proteínas funcionais. Entre essas proteínas está a própria clorofila, que é constantemente renovada. Isso ocorre porque a clorofila, como já mencionado, participa ativamente da cadeia de transporte de elétrons durante a fotossíntese e sofre danos frequentes ao absorver luz, ganhando e perdendo elétrons. Por esse motivo, ela é degradada e sintetizada novamente em ritmo acelerado (Tanaka e Tanaka, 2011).

A degradação da clorofila é conhecida como *degreening* (Pelissari e Coimbra, 2023), é essencial para elucidar os mecanismos fisiológicos que regulam a presença ou a remoção desse pigmento nos tecidos vegetais. Esse entendimento é particularmente importante no contexto da maturação de sementes, fase em que a degradação da clorofila representa uma etapa inerente ao desenvolvimento dos grãos. Nesse contexto, vale destacar que a degradação da clorofila é

necessária para reduzir os riscos de formação de radicais livres e danos oxidativos que comprometem sua qualidade fisiológica (Teixeira, 2010; Baldini et al., 2011). A rápida degradação da clorofila livre ou de seus derivados é crucial para evitar danos celulares causados por sua ação fotodinâmica. No entanto, a presença de sementes esverdeadas ainda representa um desafio recorrente, especialmente em ambientes sujeitos a altas temperaturas e estresse hídrico durante sua fase de maturação. Esses estresses podem inibir a ação das enzimas clorofilase e magnésio-quelatase, que são essenciais no processo de degradação da clorofila. Como resultado, mesmo sementes com teor de matéria seca próximo ao ponto de maturação fisiológica podem reter o pigmento verde, caracterizando-se como sementes imaturas ou esverdeadas (Rangel et al., 2011).

Compreender a degradação da clorofila é essencial para elucidar os mecanismos fisiológicos que explicam a presença de sementes esverdeadas. Nesse sentido, Taiz e Zeiger (2017) ressaltam que a interrupção ou desregulação do processo de degradação desse pigmento em sementes imaturas está diretamente relacionada à perda da qualidade fisiológica e ao surgimento de sementes verdes, conforme discutido ao longo do texto. Diante do exposto, os principais pontos que evidenciam a relação entre a biossíntese da clorofila e a formação de sementes esverdeadas são listados a seguir:

- i) A **biossíntese da clorofila** envolve reações enzimáticas altamente reguladas; falhas nesse processo, especialmente no final do desenvolvimento da semente, podem causar **acúmulo de clorofila livre ou intermediários tóxicos**.
- ii) Durante a **senescência foliar**, o cloroplasto é a primeira organela a ser degradada, liberando clorofila livre.
- iii) A **clorofila livre**, se não for rapidamente transformada ou degradada, pode gerar **reações fotooxidativas**, comprometendo a integridade celular.
- iv) **Sementes que não atingem a maturação fisiológica plena** apresentam sistemas de detoxificação ainda imaturos, o que reduz a capacidade de neutralizar compostos reativos.
- v) A **retenção de clorofila** nessas sementes representa um risco fisiológico, impactando **viabilidade, vigor e longevidade**, principais indicadores da qualidade fisiológica.

A maturação das sementes envolve tanto a degradação da clorofila quanto a síntese de açúcares solúveis. Esse processo de degradação da clorofila se intensifica durante a senescência, sendo desencadeado por diversos fatores, tanto endógenos quanto externos, como estresse

hídrico, baixa luminosidade, variações de temperatura e aumento na produção de etileno, além de fatores internos, como o aumento da permeabilidade de membranas e alterações no pH celular (Lemes e Catão, 2024).

A degradação da clorofila está intimamente relacionada aos níveis de água e etileno presentes nos tecidos, sendo intensificada nos estágios finais da formação da semente (Heaton & Marangoni, 1996). Esse fenômeno é agravado pela interrupção do processo de translocação dos fotoassimilados, o que contribui para o atraso na maturação (Carvalho e Nakagawa, 2012). Quando a clorofila ainda está presente nas sementes de soja mesmo no estágio de maturidade fisiológica, ela pode intensificar a oxidação dos tecidos de reserva, prejudicando o crescimento do eixo embrionário e, em muitos casos, comprometendo a formação completa das plântulas no campo (Teixeira et al., 2020). Após compreender os aspectos fisiológicos relacionados à degradação da clorofila, é fundamental abordar as fases de desenvolvimento da planta, que exercem influência direta sobre o processo de maturação das sementes, momento sensível em que pode ocorrer a retenção de clorofila nos cotilédones (Costa et al., 2001; Ferreira et al., 2017).

Antes de aprofundar essa discussão, é necessário esclarecer a diferença entre crescimento e desenvolvimento vegetal, a fim de compreender em que etapa as sementes esverdeadas podem surgir nesse processo. O desenvolvimento vegetal envolve duas dimensões interligadas: o crescimento, caracterizado pelo aumento de volume decorrente da divisão e expansão celular, e o desenvolvimento propriamente dito, que compreende a aquisição de propriedades metabólicas, estruturais e funcionais. Esse processo inclui modificações químicas e físicas que resultam na diferenciação celular e na formação de tecidos e órgãos, conferindo identidade às estruturas vegetais. Ambas as dimensões, crescimento e desenvolvimento, ocorrem de forma simultânea e coordenada, influenciando diretamente a formação e a qualidade final das sementes (Estelle, 2009; Ali e Baloch, 2020).

As plantas de soja possuem estádios de desenvolvimento bem definidos, agrupados em duas grandes fases: vegetativa e reprodutiva. A fase vegetativa se inicia com a emergência da plântula e segue até o surgimento do último nó antes da abertura da primeira flor. Já a fase reprodutiva inicia-se com a antese (abertura da primeira flor) e vai até a maturidade completa dos grãos (Taiz e Zeiger, 2017). Pois é justamente ao longo do desenvolvimento reprodutivo que ocorrem os principais eventos relacionados à maturação das sementes, momento em que a degradação da clorofila deve ocorrer para garantir a qualidade fisiológica do material (Zorato

et al, 2007a). Como discutido anteriormente, qualquer interferência nesse processo, seja por fatores fisiológicos, bioquímicos, ambientais ou relacionados ao estágio fenológico, pode resultar na retenção de clorofila, originando as sementes verdes e comprometendo sua qualidade.

A identificação precisa do estágio fenológico da soja é fundamental para orientar decisões de manejo, especialmente no momento da colheita. A antecipação dessa etapa pode levar à colheita de sementes imaturas, muitas vezes ainda esverdeadas, o que compromete seu vigor e, conseqüentemente, o seu potencial produtivo. Para entender em que momento essas sementes esverdeadas tendem a surgir, faz-se necessário o uso de uma classificação fenológica confiável. Neste contexto, adota-se a escala proposta por Fehr e Caviness (1977), complementada por Ritchie et al. (1997), conforme citados por Pelissari e Coimbra (2023), a qual descreve detalhadamente as fases do desenvolvimento da soja apresentada a seguir.

#### **I) Fases de Desenvolvimento Vegetativo (V):**

- VE: Emergência, quando os cotilédones ultrapassam a superfície do solo.
- VC: Abertura completa dos cotilédones.
- V1: Formação do primeiro nó com as folhas unifoliadas totalmente expandidas.
- V2: Desenvolvimento do segundo nó, marcado pela abertura da primeira folha trifoliada.
- V3: Presença do terceiro nó, com a segunda folha trifoliada completamente desenvolvida.

#### **II) Fases de Desenvolvimento Reprodutivo (R):**

- R1: Início da floração, abertura da primeira flor em qualquer nó da haste principal.
- R2: Floração plena, caracterizada pela presença predominante de flores abertas nas inflorescências.
- R3: Início da formação e surgimento de vagens com 0,5 a 1,5 cm no terço superior da planta.
- R4: Fase de frutificação plena, com vagens entre 2 e 4 cm no terço superior da haste.
- R5.1 a R5.5: Etapas graduais de enchimento de grãos, variando de 10% até a granação completa.
- R6: Grãos totalmente formados, com sementes verdes atingindo o volume máximo.
- R7.1 a R7.3: Maturação fisiológica com aproximadamente 50% ou mais das folhas e vagens apresentando coloração amarelada.

- R8.1 e R8.2: Início e avanço da desfolha natural, indo de parcial até quase completa.
- R9: Maturidade final no campo — cerca de 95% das vagens apresentam coloração típica de maturação.

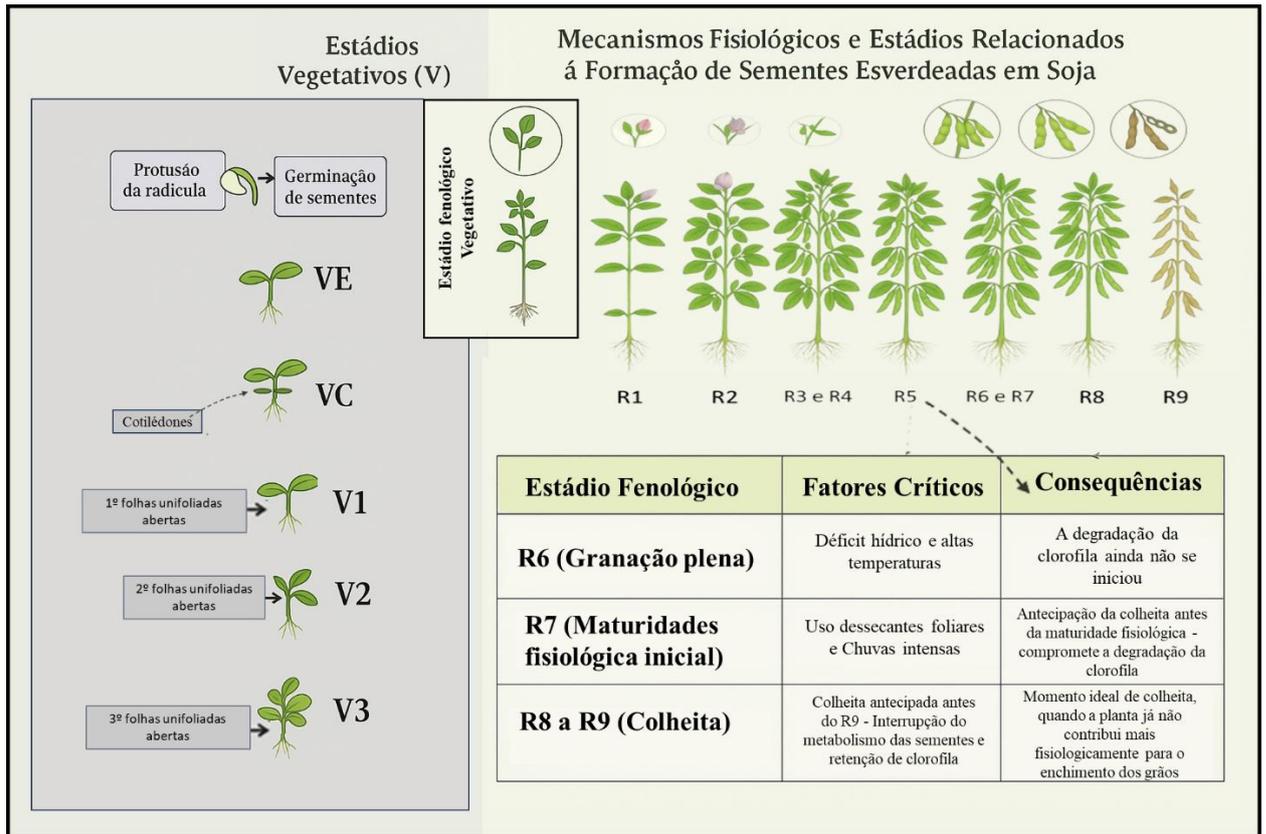
Com base na escala fenológica de Fehr e Caviness (1977), apresentada acima, sabe-se que os estresses hídrico e térmico estão entre os principais fatores associados à formação de sementes verdes (Bordignon et al., 2017). De acordo com os estudos de França Neto et al. (2005), a ocorrência do déficit hídrico no solo e de temperaturas elevadas durante o estágio R6 (fase de granação plena) pode resultar em altos percentuais de sementes verdes, uma vez que a degradação da clorofila ainda não foi iniciada. Por outro lado, quando essas condições adversas ocorrem a partir do estágio R7, especialmente sob temperaturas mais amenas, a tendência é que não haja retenção de clorofila, pois o processo de sua degradação já foi fisiologicamente iniciado.

Seguindo a linha de raciocínio, contextualizando ainda sobre o estágio fenológico R7 relacionado com o uso de dessecantes foliares e a ocorrência de chuvas durante o período de colheita podem favorecer a formação de sementes esverdeadas. Os principais entraves relacionados a esses fatores são apresentados a seguir: Em primeiro lugar, o uso de dessecantes foliares visa antecipar a colheita, reduzindo a permanência da planta no campo após atingir a maturidade fisiológica. Esses produtos induzem a perda rápida de água pela planta e pelas sementes (Marcos Filho, 2015). No entanto, quando aplicados antes do estágio R7, podem causar a morte prematura da planta, interrompendo a atividade das enzimas responsáveis pela degradação da clorofila. Como consequência, ocorre o acúmulo do pigmento verde, elevando a incidência de sementes esverdeadas na colheita (França Neto et al., 2016). Segundo ponto, a ocorrência de chuvas intensas durante o período de colheita pode forçar o agricultor a antecipar a operação, a fim de evitar perdas por deterioração. Como já mencionado, essa antecipação, muitas vezes associada ao uso de dessecantes foliares, deve, no entanto, ser realizada apenas a partir do estágio R7, momento em que a semente já atingiu o ponto de máximo acúmulo de reservas. Colheita realizada antes desse estágio aumentam significativamente o risco de retenção de clorofila nos grãos (Pelissari e Coimbra, 2023).

Nesse contexto, observa-se que, durante a fase fenológica R7, tanto o uso inadequado de dessecantes foliares quanto a ocorrência de chuvas no período de colheita podem favorecer a formação de sementes esverdeadas, uma vez que esses fatores têm o potencial de interromper ou comprometer o processo natural de degradação da clorofila, justamente no momento em que

sua atividade enzimática e a via metabólica é iniciada (Pádua et al., 2009a; Castro et al. 2016; Zuffo et al. 2020; Lemes e Catão, 2024). Corroborando com esta perspectiva, Lima et al. (2017) identificaram, por meio de análise transcriptômica, a ativação dos genes responsáveis pela degradação da clorofila tem início no estágio R7.1 e se intensifica no R7.2. Esses genes codificam enzimas essenciais para a desestruturação dos pigmentos. O estudo também evidenciou que a secagem precoce das sementes interfere negativamente nesse processo, reduzindo a expressão gênica e, por consequência, há o comprometimento da degradação da clorofila. Tais resultados reforçam a importância de realizar a colheita no momento e estágio fenológico adequados, assim como de aplicar corretamente os dessecantes, a fim de garantir a qualidade fisiológica das sementes.

Concluindo o debate sobre os estádios fenológicos, é preciso considerar o momento ideal de colheita, etapa que está diretamente relacionada à formação de sementes esverdeadas. O ponto ideal para essa operação está próximo ao estágio R9, quando a planta já não contribui mais fisiologicamente para o enchimento dos grãos (Zuffo et al. 2020). A colheita antecipada, realizada entre os estádios R6 e R7, está entre as principais causas da presença de sementes esverdeadas, embora apresentem maturidade externa, ainda não concluíram seu processo interno de maturação, afetando negativamente sua qualidade fisiológica, especialmente em termos de viabilidade e vigor (França Neto et al., 2005; França Neto et al., 2016). Assim, a realização da colheita no momento adequado, aliada ao controle da temperatura e do teor de água durante o processo de secagem, exerce influência direta sobre a degradação da clorofila e, consequentemente, sobre a qualidade final das sementes. Dessa forma, é possível evitar a presença de sementes imaturas no lote, além de favorecer a obtenção de um material de alto desempenho fisiológico (Dantas, 2021; Lima, 2021). Na figura 1, são apresentados os principais fatores que interferem na degradação da clorofila entre os estádios R6 e R9 da soja, destacando-se as causas e consequências relacionadas à formação de sementes verdes.



**Figura 1.** Principais entraves fisiológicos nos estádios finais do desenvolvimento da soja relacionados à retenção de clorofila.

Outro fator que pode comprometer a degradação da clorofila e favorecer a formação de sementes esverdeadas está relacionado às “condições pós-colheita”. Durante a fase de maturação, as sementes apresentam elevado teor de umidade e concentração de clorofila, no entanto, a degradação desse pigmento pode ocorrer naturalmente se a secagem for realizada de forma lenta e sob temperaturas amenas. Temperaturas próximas de 25 °C favorecem esse processo, enquanto valores elevados, como 40 °C, tendem a inibi-lo, resultando em maior retenção do pigmento verde. Esse efeito está diretamente relacionado à velocidade de desidratação: secagens rápidas reduzem a disponibilidade de água, interrompendo o metabolismo antes da conclusão da maturação, o que pode causar danos às membranas celulares e comprometer a qualidade fisiológica da semente (Pelissari e Coimbra, 2023).

Considerando os impactos da secagem e do armazenamento na manutenção do vigor das sementes esverdeadas, França-Neto et al. (2012) observaram que sementes de soja esverdeadas submetidas a um processo de secagem lenta em temperaturas mais amenas podem germinar e originar plântulas normais. Entretanto, após vários meses de armazenamento em

condições não controladas, essas sementes perdem sua viabilidade, reduzindo drasticamente sua capacidade germinativa. Com base nesse contexto, Smaniotto et al. (2014) destacam que a temperatura e o teor de água são fatores críticos que afetam diretamente a conservação da qualidade fisiológica. Assim, a conservação por meio do resfriamento tem se mostrado mais eficaz do que outras formas de armazenamento, por preservar melhor as características fisiológicas das sementes ao longo do tempo. Tendo em vista que as sementes de soja são higroscópicas, cotiledonares e oleosas e, apresentam perda acelerada de viabilidade quando armazenadas em condições desfavoráveis, sendo fundamental mantê-las sob temperatura e umidade controladas (Dantas, 2021).

No trabalho intitulado “*Qualidade de sementes esverdeadas de soja armazenadas em ambiente refrigerado*”, Dantas (2021), observou que, quanto mais intensa a tonalidade verde, menor o vigor das sementes. Além disso, sementes com pigmentação esverdeada apresentaram menor massa de mil sementes, possivelmente em decorrência do menor vigor. Quanto ao armazenamento refrigerado por 180 dias, este se mostrou eficaz na preservação da qualidade das sementes; no entanto, não foi capaz de reverter os efeitos negativos nas sementes que já apresentavam baixa qualidade inicial devido à presença do pigmento verde. Isso porque sementes com coloração verde mais intensa apresentam deterioração acelerada durante o armazenamento, em razão da maior produção de peróxidos e do aumento da acidez (Baldini et al., 2011).

Lima (2021) desenvolveu um estudo com lotes compostos por sementes amarelas contendo diferentes proporções de sementes verdes: 4%, 8%, 12% e 16%. As amostras foram submetidas aos testes de germinação e envelhecimento acelerado. Os resultados mostraram que o ambiente com temperatura de 40 °C e umidade relativa de 80% reduziu significativamente a longevidade das sementes em comparação ao ambiente de 35 °C e 75% de umidade. Esses dados reforçam que as condições ambientais às quais as sementes são expostas exercem influência direta sobre o desempenho das sementes esverdeadas em lotes comerciais.

Por fim, conforme discutido ao longo deste tópico e com base nas informações coletadas, a exposição das plantas a clima quente e seco no final da maturação, especialmente no estádio R6, é um fator crítico para a formação de sementes esverdeadas, o que reduz a atividade da enzima clorofilase, inibindo a degradação natural da clorofila. Com isso, os cotilédones mantêm vestígios do pigmento verde (Pádua et al., 2009b). Como esse dano é

causado por um processo evolutivo, a perda do potencial fisiológico da semente ocorre ao longo do tempo (Pádua et al., 2010; França Neto et al., 2012).

Naturalmente, a deterioração é um processo irreversível; não se pode impedi-la, mas é possível retardá-la com o controle rigoroso das variáveis ambientais das condições de armazenamento, como temperatura e teor de umidade. A presença constante de sementes esverdeadas em lotes compromete a formação de estandes adequados para as cultivares, aumenta o índice de descarte durante o beneficiamento e reduz as expectativas das empresas quanto à produção anual (Dantas, 2021). Isso ocorre porque as sementes esverdeadas possuem menor valor econômico, resultado de alterações fisiológicas e bioquímicas, como menor teor de fitatos, baixo rendimento na produção de derivados proteicos e a exigência de processos de refino mais complexos e onerosos (Mandarino, 2012; Teixeira et al., 2016). Temática esta que será aprofundada no próximo tópico, que abordará a qualidade fisiológica de lotes de sementes de soja com diferentes porcentagens de sementes esverdeadas.

## **2.2 Como a coloração verde afeta a produção e o vigor: Um problema subestimado?**

Neste tópico, será abordada a temática do chamado “problema da semente verde”, frequentemente subestimado, mas que representa uma séria ameaça à qualidade fisiológica das sementes. Esse problema se agrava, em especial, quando a incidência desse fenótipo excede os limites considerados aceitáveis, o que pode comprometer a comercialização do lote e resultar em prejuízos econômicos significativos (Teixeira et al., 2016). No Brasil, admite-se até 9% de sementes esverdeadas em lotes comerciais, valor estabelecido para preservar a qualidade durante o armazenamento (Ferrari, Silva, Fidelis, 2023). Uma vez que fatores como o clima, o uso inadequado de dessecantes, a colheita precoce e a secagem em altas temperaturas, discutidos anteriormente, torna-se evidente a complexidade do fenômeno das chamadas sementes verdes ou esverdeadas e sua relação com condições ambientais e práticas de manejo inadequadas (Teixeira, et al., 2016).

Considerando os fatores ambientais e operacionais mencionados acima, outro aspecto determinante para a formação de sementes verdes é o fator genético no que diz respeito à suscetibilidade das cultivares à retenção de clorofila. Nesse contexto, sob a perspectiva econômica, a soja é uma leguminosa que se consolidou como uma das principais *commodities* do Brasil e do mundo, impulsionada pelo avanço do melhoramento genético (França Neto et

al., 2012, Teixeira et al., 2020, Pelissari e Coimbra, 2023). Esse avanço, somado à adoção de práticas de manejo eficientes, tem assegurado lavouras com melhor padrão de uniformidade e desempenho produtivo (Pádua et al., 2009; Rangel et al., 2011; Bordignon et al., 2017; Carvalho et al., 2021). No entanto, esse sucesso produtivo é alicerçado no uso de sementes de alta qualidade, o que tem sido comprometido pela presença de sementes esverdeadas, cuja retenção de clorofila nesses grãos reflete falhas nos processos de maturação, além de comprometer sua comercialização (Neitzke et al., 2024; Enge et al., 2024). Portanto, adotar manejos adequados, como a época certo de semeadura, colheita em fase ideal e o manejo químico, são essenciais para reduzir o problema e evitar impactos no ciclo da cultura (Ajala-Luccas et al., 2023).

Essa problemática ganha ainda mais relevância quando se considera que a soja é uma das culturas agrícolas mais importantes do Brasil, especialmente no bioma Cerrado, onde ocupa aproximadamente 15,6 milhões de hectares, o que corresponde a cerca de 90% da área destinada à agricultura anual nessa região (Dantas, 2021). Nos últimos anos, têm sido frequentes os relatos de retenção de clorofila em sementes de soja produzidas nessas áreas, o que tem gerado preocupação em toda a cadeia produtiva. Essa condição está geralmente associada a índices elevados de deterioração das sementes, o que compromete seu desempenho fisiológico conforme apontado por Bordignon et al. (2017). Portanto, a obtenção de sementes com alta qualidade fisiológica, capazes de originar plântulas vigorosas e em número adequado, exerce influência direta sobre parâmetros críticos como o índice de germinação e a taxa de emergência das plantas no campo (Macêdo et al., 2024; Enge et al., 2024).

Avançando na análise dos fatores relacionados à qualidade fisiológica das sementes esverdeadas, características como pureza física, alta capacidade germinativa e vigor, que se traduzem em rápida emergência e maior resistência ao estresse. Por serem essenciais para o sucesso da semeadura, é evidente que a presença de sementes verdes pode reduzir significativamente a qualidade do lote (Pelissari e Coimbra, 2023; Macêdo et al., 2024; Enge et al., 2024). Durante o processo normal de maturação, enzimas como a magnésio-quelatase e clorofilase são responsáveis pela degradação da clorofila, o que faz com que as sementes percam gradualmente essa coloração verde (Teixeira et al., 2020; Nunes et al., 2023; Enge et al., 2024). Contudo, condições climáticas adversas, especialmente em ambientes quentes e secos durante os estágios finais de desenvolvimento, a atividade dessas enzimas pode ser reduzida ou inibida (Taiz et al., 2017; Enge et al., 2024). Essa limitação enzimática contribui para a senescência prematura da planta-mãe, a qual, por sua vez, induz uma maturação

antecipada das sementes, favorecendo a permanência de pigmentos residuais (Marcos-Filho, 2015; Enge et al., 2024). O estresse ambiental, nesses casos, provoca um bloqueio da via catabólica da clorofila, impedindo sua completa degradação. Como resultado, as sementes permanecem verdes em intensidades variadas, podendo apresentar coloração residual desde o tegumento até a totalidade do grão, a depender da intensidade e do momento em que o estresse ocorre (Gonzatti, 2023).

A compreensão desses efeitos fisiológicos não se limita à atividade enzimática, sendo também possível correlacioná-los com alterações no ciclo reprodutivo da planta-mãe. Nesse contexto, destaca-se a ocorrência de morte ou maturação precoce da planta-mãe, frequentemente desencadeada por fatores ambientais adversos nos estádios finais do desenvolvimento das sementes (França Neto et al., 2012; Gallo et al., 2012; Mandarino, 2012). Sob essa perspectiva, levanta-se a hipótese de que, durante o enchimento e a maturação das sementes, a planta-mãe tenha sido submetida a estresses bióticos e/ou abióticos, favorecendo a retenção de clorofila nos cotilédones (Mandarino, 2005; Pádua et al., 2009; Mandarino, 2012).

Diante da relação entre o estresse ambiental e a inibição das vias catabólicas da clorofila, a qualidade fisiológica das sementes, é definida pelo vigor e pela capacidade germinativa, torna-se um fator determinante não apenas para o desempenho produtivo da lavoura, mas também impacta diretamente no sucesso da safra e a comercialização e venda, seja para unidades de beneficiamento de sementes (UBS) ou para o mercado de grãos (Enge et al., 2024). Entre os diferentes testes utilizados na análise de sementes permitem identificar o percentual de sementes esverdeadas em um lote (Marcos Filho, 2015; Gonzatti, 2023). Segundo as Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009), esses procedimentos seguem padrões específicos que garantem a confiabilidade dos resultados obtidos, como é possível observar no relato de experiência a seguir, vivenciado durante minhas atividades em uma UBS de sementes.

Para correlacionar os aspectos discutidos na revisão de literatura, torna-se pertinente e justificado apresentar um breve relato de experiência. Durante meu estágio atuando como assistente de laboratório na Solotech Cerrado Ltda – ME e como assistente de qualidade em uma UBS, pude acompanhar de perto como essas diretrizes são aplicadas na prática, vivenciando parte do que foi abordado na literatura especializada. Durante esse período, ficou evidente que uma das principais causas de reprovação de cargas de sementes era o excesso de sementes esverdeadas. Na rotina operacional, cargas com até 5% a 8% de sementes com coloração esverdeada ainda podiam ser aceitas. Contudo, quando esse índice ultrapassava 10%,

a carga era geralmente reprovada, não sendo integralizada na UBS e sendo redirecionada para unidades de grãos destinadas ao esmagamento. Para avaliar a porcentagem de sementes esverdeadas, realizava-se uma análise visual a partir de uma amostragem de 400 sementes. Quando se observava uma porcentagem elevada, priorizava-se a realização do teste de tetrazólio (TZ), que auxiliava na tomada de decisão quanto à aprovação ou rejeição da carga. Além disso, durante meu estágio como assistente de laboratório no Laboratório Solotech Cerrado Ltda – ME, aprofundi o conhecimento nas metodologias de avaliação da qualidade fisiológica, aprendendo na prática a execução dos testes de germinação e tetrazólio (Figura 2). Essa triagem se mostrou fundamental para garantir que apenas lotes com qualidade fisiológica adequada sejam comercializadas como sementes.



**Figura 2.** Destinação de cargas de soja conforme o percentual de sementes esverdeadas em UBS.

Com base no relato de experiência apresentado, é possível observar na prática os efeitos negativos associados à presença de sementes esverdeadas. Esses impactos também são confirmados por resultados de pesquisa, como os obtidos por Bordignon et al. (2017) avaliaram a influência do percentual de sementes esverdeadas sobre a qualidade fisiológica de doze

cultivares de soja. Dentre os lotes analisados, a cultivar que apresentou o maior percentual desse fenótipo foi a BMX Turbo, com 37% de sementes esverdeadas, germinação de 76% e vigor de 60%, sendo classificada como inadequada para a semeadura. Sob a mesma perspectiva, o experimento conduzido por Medina et al. (1997) demonstrou que, mesmo em lotes com bom padrão fisiológico, a presença de sementes esverdeadas comprometeu a germinação. Já Costa et al. (1995) destacaram que após a maturidade fisiológica, momento em que a semente atinge seu potencial máximo, qualquer atraso na colheita prolonga sua permanência no campo, sendo expostas as variações climáticas adversas, como chuvas e altas temperaturas. Esse período, pode favorecer processos de deterioração natural, como aumento da umidade, proliferação de microrganismos e danos mecânicos. Como consequência, há perda gradual da viabilidade e do vigor das sementes, comprometendo sua qualidade para a semeadura (Pelissari e Coimbra, 2023; Enge et al., 2024).

Complementando à discussão sobre os impactos das sementes esverdeadas, o trabalho de Gonzatti (2023), intitulado “*As sementes esverdeadas de soja e os aspectos de perda de qualidade fisiológica*” demonstrou que essas sementes apresentam menor vigor e viabilidade em comparação às de coloração amarela. Estes mesmos autores atribuíram essa redução principalmente à menor tolerância das sementes esverdeadas à estresses abióticos. Arruda et al. (2016) obtiveram resultados semelhantes em seu estudo intitulado “*Qualidade fisiológica de lotes de sementes de soja com diferentes porcentagens de sementes verdes*”. Nesse trabalho, foram avaliados lotes da cultivar M-SOY 8866 com 0%, 17%, 36% e 49% de sementes verdes. Mediante aos resultados desta pesquisa, indicaram uma redução significativa nos percentuais de germinação e vigor nos lotes com maiores proporções desse fenótipo, quando comparados à testemunha (0%). Essa perda de qualidade está associada à colheita antes da maturidade fisiológica, o que faz com que as sementes permaneçam verdes. Os autores alertam que a presença de sementes verdes em níveis superiores a 17% compromete a qualidade fisiológica do lote, tornando-o inadequado para a semeadura.

Esses achados reforçam a importância de se estabelecer limites seguros para a presença de sementes esverdeadas em lotes comerciais. Nesse sentido, o estudo de Pádua et al. (2005), intitulado “*Determinação do nível máximo de tolerância de sementes esverdeadas em lotes de sementes de soja*”, teve como objetivo determinar o percentual máximo tolerado de sementes verdes em lotes comerciais, sem comprometer sua qualidade fisiológica. Para isso, sementes esverdeadas foram misturadas a sementes amarelas em diferentes proporções: 0%, 3%, 6%, 9%,

12%, 15%, 20%, 30%, 40%, 50%, 75% e 100%. Os resultados indicaram que, à medida que aumentava o percentual de sementes verdes, à redução da germinação e do vigor, além de elevação proporcional nos teores de clorofila. Observou-se ainda que a maioria das sementes esverdeadas estava morta ou originava plântulas anormais. Com base nesses dados, os autores concluíram que o nível máximo tolerado de sementes esverdeadas em lotes comerciais de soja deve ser de, no máximo, 9%.

Teixeira et al. (2020), também relataram à redução do vigor em sementes com presença de clorofila em seus tecidos. Diante dos prejuízos associados a essa condição, Costa et al. (2001) recomendaram que a proporção máxima de sementes esverdeadas em lotes destinados à semeadura não ultrapasse 10%, com o objetivo de evitar comprometimentos no desempenho inicial da lavoura e, conseqüentemente, perdas na produtividade. Essa orientação é corroborada por Capelaro (2022), que verificou reduções expressivas na produtividade quando a porcentagem de sementes esverdeadas ultrapassava esse limite. No referido estudo, foram testados oito tratamentos compostos por diferentes proporções de sementes esverdeadas: 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12% e 14% da massa total. Os resultados indicaram que proporções superiores a 6% comprometem significativamente o rendimento da cultura, uma vez que sementes com maior acúmulo de clorofila tendem a apresentar desempenho inferior no campo, refletido em plântulas menos vigorosas, emergência desuniforme e menor estabelecimento do estande.

Diante desses dados, fica clara a importância de limitar a presença de sementes esverdeadas em lotes comerciais. Essa necessidade se justifica ainda mais quando se consideram os mecanismos fisiológicos e bioquímicos envolvidos nesse distúrbio, relacionadas à ocorrência do processo de deterioração, conforme descrito por Enge et al. (2024) nos parágrafos anteriores. A deterioração das sementes é um processo degenerativo que ocorre de forma progressiva após a maturidade fisiológica, sendo intensificado por fatores ambientais adversos e por danos acumulados ao longo da cadeia produtiva (Baldini et al., 2011; Dantas, 2021). Esse processo compromete a integridade celular e afeta diretamente o metabolismo das sementes, refletindo-se na redução da viabilidade, do vigor e da capacidade germinativa (Arruda et al., 2016; Teixeira et al., 2020; Capelaro, 2022; Gonzatti, 2023). Entre os principais mecanismos associados à deterioração estão o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs), a perda da integridade das membranas e a diminuição da atividade de enzimas essenciais à manutenção da qualidade fisiológica das sementes, como catalase, peroxidase,  $\alpha$ -

e  $\beta$ -amilase e desidrogenases (Taiz e Zeiger, 2017). Esses processos se intensificam sob a influência de fatores climáticos adversos, que atuam em diferentes etapas da cadeia produtiva, desde o campo até o armazenamento para uso futuro. Entre os principais fatores destacam-se períodos de estiagem, ataques de insetos, variações extremas de temperatura durante a maturação e oscilações na umidade relativa do ar, condições que favorecem especialmente a deterioração por umidade (Bordignon et al., 2017). Nesse contexto, compreender os fatores que comprometem a integridade das sementes é essencial para a adoção de estratégias que reduzam perdas e aumentem a eficiência na produção, tema que será aprofundado no próximo tópico.

### **2.3 Verde não é vida: Quando o pigmento esconde um distúrbio fisiológico e compromete a qualidade das sementes**

Embora o verde represente, tradicionalmente, um símbolo de vigor e vitalidade, no contexto da produção de sementes de soja, essa coloração pode indicar sérios problemas fisiológicos. Nesse cenário, o efeito dos estresses ambientais sobre a qualidade das sementes e dos grãos já bem documentado na literatura (França Neto et al., 2012; Ludwig et al., 2023). Contudo, as implicações práticas decorrentes dessas condições, como a insegurança alimentar e os prejuízos econômicos, ainda representam um problema recorrente na cadeia produtiva da soja (Fatima e Jan, 2023; Perissato, 2024). Com base nas discussões anteriores, que abordaram a influência do esverdeamento das sementes no metabolismo da planta-mãe, passa-se agora à etapa final desta revisão, a qual será estruturada em quatro tópicos fundamentais para a compreensão do fenômeno: (i) fatores ambientais associados ao esverdeamento; (ii) influência genética; (iii) práticas de manejo e beneficiamento e; (iv) longevidade e armazenamento.

Como discutido até o momento, o estresse hídrico e as altas temperaturas configuram-se entre os principais fatores responsáveis pela ocorrência de sementes verdes em lotes de soja, pois podem antecipar o ciclo da planta durante a fase de translocação de fotoassimilados e de maturação das sementes e, na pior das hipóteses, resultar na morte prematura da planta (Dantas, 2021). Essa antecipação do ciclo, por sua vez, pode ocasionar à colheita precoce, o que dificulta a degradação da clorofila, levando, assim, à formação de sementes com coloração esverdeada. (Pelissari e Coimbra, 2023). Trata-se, portanto, de um fator extremamente preocupante, uma vez que produtores e sementeiras enfrentam esses entraves para lidar com esta problemática, destacando-se a necessidade de compreender as causas do esverdeamento e suas consequências

para a qualidade dos lotes comerciais. Além das condições climáticas mencionadas, fatores como seca intensa, ataque de percevejos e infecções por fungos de solo e foliares, podem provocar a morte prematura das plantas, levando à maturação forçada e à maior incidência dessa pigmentação nas sementes. Portanto, os tópicos descritos abaixo, foram compilados com base no referencial teórico apresentado por Marcos Filho (2015), França Neto et al. (2016), Pelissari e Coimbra (2023) e Lemes e Catão (2024), os quais abordam os principais fatores associados à formação de sementes esverdeadas na cultura da soja. Entre os principais fatores estão:

- 1) **Doenças radiculares**, como **fusarioses** - comprometem a absorção de água e nutrientes, afetando o desenvolvimento das plantas e favorecendo a formação de sementes imaturas ou esverdeadas;
- 2) **Doenças da haste**, como **cancro da haste** - prejudicam o transporte de seiva e aceleram a senescência da planta;
- 3) **Doenças foliares**, como a **ferrugem asiática**- reduzem a área fotossintética ativa, antecipando a maturação e impactando negativamente a qualidade das sementes;
- 4) **Ataques intensos**, como o **percevejo-marrom** (insetos do tipo picador-sugador) - comprometem o enchimento dos grãos, interferindo no acúmulo de reservas e favorecendo a retenção de clorofila nos cotilédones;
- 5) **Geadas severas** - causam danos diretos aos tecidos da planta, levando ao colapso celular e à morte precoce, com impacto direto na maturação das sementes;
- 6) **Períodos de estiagem e calor excessivo** - interrompem precocemente o metabolismo da planta, acelerando sua senescência e dificultando a degradação da clorofila nos estádios finais de desenvolvimento, especialmente entre R6 e R7;
- 7) **O uso de desseccantes foliares** - visa antecipar a colheita e reduzir a permanência da planta no campo após atingir a maturidade fisiológica. Mas, quando aplicados antes do estágio R7, podem ocasionar morte prematura, interrompendo a atividade das enzimas envolvidas na degradação da clorofila. Isso favorece o acúmulo do pigmento verde nas sementes, aumentando a proporção de sementes esverdeadas na colheita;
- 8) **Manejo nutricional e adubação** – falhas na distribuição de corretivos e fertilizantes ao longo da área cultivada geram desuniformidade no desenvolvimento das plantas. Isso resulta na colheita de sementes em diferentes estádios de maturação, aumentando a ocorrência de sementes verdes misturadas às maduras.

- 9) **Características genéticas das cultivares** – o potencial genético das plantas influencia diretamente a tolerância ao estresse e a eficiência na degradação da clorofila. Algumas cultivares são mais propensas à retenção de pigmento verde, especialmente sob condições ambientais adversas.

Com relação aos fatores genéticos, é possível aprofundar a discussão a partir de evidências experimentais, como o estudo de Carvalho et al. (2021), que identificou variações entre cultivares quanto à suscetibilidade à retenção de clorofila em diferentes épocas de semeadura. Resultados semelhantes foram obtidos por Pádua et al. (2009), que observaram maior acúmulo de clorofila na cultivar 'Robusta' sob estresse hídrico, reforçando a influência do genótipo sobre o metabolismo da clorofila, enquanto Pelissari e Coimbra (2023) destacam que a seleção de cultivares com maior estabilidade fisiológica frente aos estresses abióticos, sobretudo nas fases finais de desenvolvimento, é uma estratégia eficaz para reduzir a incidência de sementes esverdeadas.

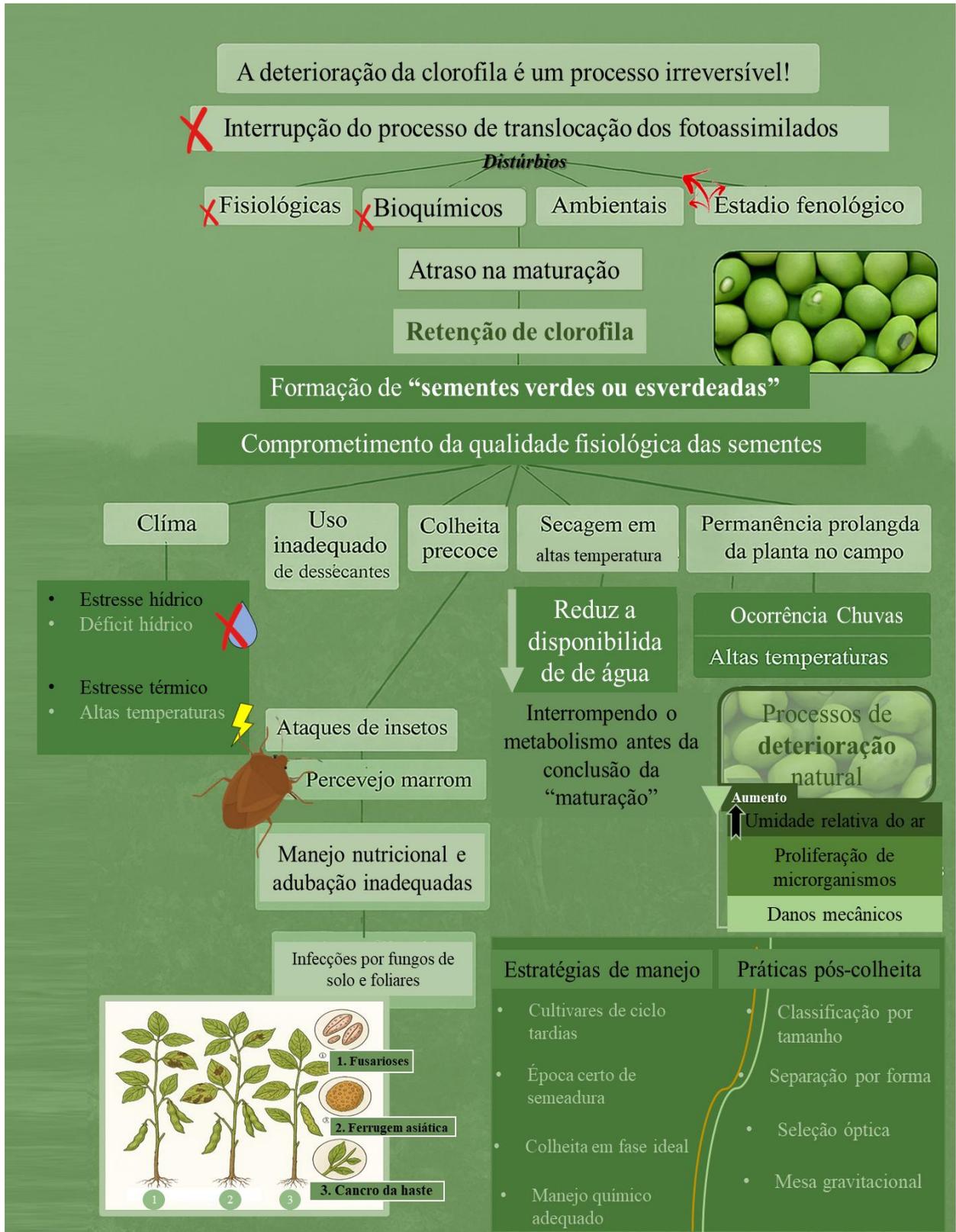
Diversas abordagens têm sido descritas na literatura com o objetivo de minimizar a ocorrência de sementes esverdeadas em lotes comerciais. Como os fatores climáticos responsáveis por esse distúrbio, como o estresse hídrico e as altas temperaturas, estão além do controle direto do produtor, torna-se indispensável a adoção de práticas de manejo que reduzam os riscos durante o ciclo da cultura (Teixeira, et al., 2016). Entre as estratégias preventivas, destaca-se a realização da semeadura em períodos mais tardios ou a utilização de cultivares de ciclo mais longo. Essas medidas visam evitar que a fase de enchimento e maturação das sementes coincida com períodos críticos, como o veranico ou picos de temperatura, que favorecem o esverdeamento (França Neto et al., 2005). Além do manejo no campo, práticas pós-colheita também são fundamentais para a melhoria da qualidade dos lotes. Durante o beneficiamento, é possível aplicar métodos físicos que ajudam a reduzir a proporção de sementes verdes, conforme Pádua et al. (2010), Pardo et al., (2015) e Sobrinho (2019). Entre eles, podem ser mencionados:

- **Classificação por tamanho:** Sementes esverdeadas geralmente apresentam menor tamanho e podem ser removidas com o uso de peneiras apropriadas;
- **Pré-limpeza com ajustes específicos:** Mesmo aquelas com tamanho maior, mas com baixa massa seca, podem ser descartadas por meio de regulagens nos equipamentos;
- **Separação por forma:** Sementes imaturas costumam ter formatos irregulares, sendo separáveis com máquinas de espiral;

- **Seleção óptica:** Técnica eficiente que identifica e remove sementes com coloração atípica, embora exija maior investimento inicial;
- **Mesa gravitacional:** Apesar de amplamente utilizada, sua eficácia na separação de sementes verdes é considerada limitada.

Essas ações, quando integradas a um sistema de produção bem planejado, contribuem significativamente para a redução da presença de sementes esverdeadas em lotes comerciais destinados à produção de sementes. Contudo, a presença de sementes esverdeadas pode reduzir significativamente a qualidade e o aproveitamento dos lotes comerciais. Percentuais acima de 6% comprometem vigor e viabilidade, e, quando superiores a 9%, tornam o lote impróprio para comercialização. Além disso, essas sementes apresentam menor capacidade de armazenamento, perdendo viabilidade mais rapidamente em condições não refrigeradas, tema abordado na seção 2.1 das discussões desta pesquisa, que trata dos efeitos do esverdeamento sobre a qualidade fisiológica e o armazenamento de sementes (Pádua et al., 2007; Zorato et al., 2007b; Dantas, 2021).

Essa limitação no armazenamento reforça a necessidade de compreender os fatores que afetam a longevidade das sementes, especialmente quando se trata de lotes com alta incidência de esverdeamento. De fato, sementes com menor longevidade são mais sensíveis ao estresse por temperatura e umidade, o que dificulta seu armazenamento por longos períodos (Arruda et al., 2016). A longevidade, por definição, pode ser entendida como o intervalo durante o qual uma semente permanece viável, desde que armazenada sob condições ambientais favoráveis. Esse tempo pode ser influenciado por fatores como composição química, estágio de maturação, umidade, temperatura e presença de pragas e doenças (Lima et al., 2017; Luccas, 2018; Pádua, 2007). Segundo Lima (2021), a perda de viabilidade segue um padrão sigmoidal e pode ser prevista pela equação de Ellis e Roberts (1980), que estima quando metade das sementes perde a capacidade de germinar. Entender como a longevidade é afetada, especialmente em sementes esverdeadas, é essencial para garantir qualidade na produção e conservação, tanto no armazenamento em silos quanto em bancos de germoplasma. A Figura 3 apresenta os principais fatores e mecanismos fisiológicos, ambientais e de manejo envolvidos na formação de sementes esverdeadas em soja, destacando suas causas, consequências e possíveis estratégias de mitigação.



**Figura 3.** Esverdeamento de sementes de soja: causas, implicações e estratégias de manejo.

## **2.4 Esverdeamento: Novos insights e perspectivas futuras, o que está por trás do problema e como enfrentá-lo?**

Ao desenvolver este trabalho, a ideia de que o esverdeamento de sementes de soja não é causado por um único fator, mas sim pelo conjunto de interações entre o desenvolvimento da planta, o ambiente e a genética das cultivares. Foi possível entender que essas variáveis se conectam de forma direta, especialmente durante a fase de maturação das sementes. Nesse período, os estresses hídrico e térmico, muitas vezes combinados, se destacaram como os principais responsáveis pela retenção de clorofila. Esse acúmulo, ao impedir a degradação natural do pigmento, afeta o desempenho fisiológico das sementes e, conseqüentemente, o estabelecimento da cultura no campo.

Com base nos estudos revisados, ainda há muito a ser investigado, especialmente em relação à dessecação pré-colheita. É fundamental que novas pesquisas explorem, de forma mais precisa, como herbicidas, suas dosagens, as épocas de aplicação e os estágios fenológicos da soja interagem entre si (Perissato, 2024). Tais dados poderão embasar recomendações mais seguras, que equilibrem os ganhos operacionais da colheita antecipada com a preservação da qualidade fisiológica das sementes. Outro ponto que merece atenção é o impacto da dessecação na longevidade das sementes e na estabilidade durante o armazenamento. Estudos como os de Silva et al. (2023), sugerem que a interação entre práticas de dessecação e manejo do solo ainda é um campo aberto a descobertas. Não só na soja, mas também em outras culturas, essa abordagem pode revelar caminhos para o aprimoramento dos sistemas de produção.

De fato, ferramentas modernas, como o monitoramento em tempo real via sensores e o uso da agricultura de precisão, são aliados estratégicos no enfrentamento do esverdeamento. Mapear irregularidades no campo e corrigir problemas localizados de solo pode reduzir significativamente a incidência de sementes com anormalidades, não apenas na soja, mas também em outras culturas. Estudos recentes reforçam esse potencial: a revisão de Alahmad et al. (2023) demonstra que a integração entre sensores sem fio (IoT) e a análise de big data permite o monitoramento contínuo de estresses ambientais, auxiliando na tomada de decisões baseadas em dados, reduzindo perdas e promovendo melhor qualidade operacional na produção agrícola, especialmente em situações associadas à ocorrência de sementes esverdeadas. Com base em tudo o que foi discutido, reforço que enfrentar o esverdeamento das sementes exige uma abordagem integrada, baseada em dados, tecnologia e, acima de tudo, conhecimento

agronômico aplicado. Acredito que, com a continuidade das pesquisas e a aplicação prática no campo, será possível minimizar os impactos do fenômeno das “chamadas sementes verdes ou esverdeadas” e garantir lotes com maior qualidade.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do que foi exposto, conclui-se que o esverdeamento de sementes de soja é um problema multifatorial que compromete a qualidade fisiológica, o vigor, a germinação e a viabilidade durante o armazenamento. A retenção de clorofila é fortemente influenciada por condições ambientais adversas, especialmente o estresse hídrico e térmico em estádios críticos da maturação, além de práticas de manejo inadequadas e variações genéticas entre cultivares. A revisão de literatura, aliada ao relato de experiência em unidade de beneficiamento de sementes, evidenciou que a presença de sementes verdes impacta significativamente a aceitação comercial e o desempenho em campo, reforçando a importância da adoção de práticas preventivas e tecnologias de monitoramento. Assim, a mitigação desse fenômeno depende de uma abordagem integrada, que contemple desde a escolha da cultivar e época de semeadura até o manejo pós-colheita e o uso de ferramentas de agricultura de precisão. Com o avanço contínuo das pesquisas e a aplicação prática dessas estratégias, será possível reduzir os impactos do esverdeamento e garantir a produção de sementes com maior desempenho agrônomo e comercial.

### 3 REFERÊNCIAS

AJALA-LUCCAS, Daiani et al. The Seed–Seedling Transition in Commercial Soybean Cultivars with the Presence of Greenish Seeds in the Sample: A Perspective from Classical Genetic Parameters. **Agronomy**, v. 13, n. 8, p. 1-20, 2023.

ALAHMAD, T.; NEMÉNYI, M.; NYÉKI, A. Applying IoT sensors and big data to improve precision crop production: a review. **Agronomy**, v. 13, n. 10, p. 1-20, 2023.

ALI, S.; BALOCH, A. M. Overview of sustainable plant growth and differentiation and the role of hormones in controlling growth and development of plants under various stresses. **Recent patents on food, nutrition & agriculture**, v. 11, n. 2, p. 105-114, 2020.

AHLUWALIA, O.; SINGH, P.C.; BHATIA, R. A review on drought stress in plants: Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. **Resources, Environment and Sustainability**, v. 5, n. 100032, p.1-13, 2021.

ANJOS, F. S.; FROEHLICH, J. M.; CALDAS, N. V. Três mitos, três incômodas verdades sobre o agronegócio brasileiro. **Estudios Rurales**, v. 14, n. 29, p. 1-19, 2024.

ARRUDA, M. H. M. et al. Physiological quality of soybean seed lots with different percentages of greenish seeds. **Magistra**, v.28, n. 2, p.194-200, 2016.

BALDINI, L. S. et al. Relação entre teor de clorofila e peroxidação de lipídeos em semente de soja. In: Anais do XVII Congresso Brasileiro de Sementes, Natal, Embrapa Soja, *Informativo ABRATES*, Londrina, v. 21, n. 2, 2011.

BRASIL. *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. Regras para análise de sementes. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 399p.

BORDIGNON, B. C. S. et al. Percentual de sementes esverdeadas e sua influência na qualidade fisiológica de doze cultivares de soja. **PERSPECTIVA, Erechim**, v. 41, n. 155, p. 25-33, 2017.

CAPELARO, L. S. **Sementes esverdeadas de soja: efeitos sobre o desempenho das plantas em campo**. 2022. 68p. Tese (Doutorado em Ciências/Fitotecnia). Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba/SP, 2022.

CARVALHO, E. V.; PELUZIO, J. M.; FREIBERGER, C. N.; PROVENCI, L.Z.; MOTA, W.C.S. A época de semeadura na produção de sementes de soja em condições de várzea tropical. *Revista Sítio Novo*, v. 5, n. 1, p. 100-117, 2021.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 5ed. Jaboticabal: Funep, p. 590, 2012.

CASTRO, E. M. et al. Physiological quality of soybean seeds produced under artificial rain in the pre-harvesting period. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 1, p. 014-021, 2016.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-e-estimada-em-330-3-milhoes-de-toneladas-na-safra-2024-25>>. Acesso em: 19 Abr. 2025.

COSTA, N. P. et al. Diagnóstico da qualidade de sementes de soja produzidas no estado do Mato Grosso. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.38, n.2, p.169-177, 1995.

COSTA, N.P. et al. Efeito de sementes verdes na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 23, n. 2, p. 102-107, 2001.

DANTAS, I. K. P. **Qualidade de sementes esverdeadas de soja armazenadas em ambiente refrigerado**. 2021. 54p. Dissertação (Mestrado em Bioenergia e Grãos) - Instituto Federal Goiano (IF Goiano), Campus de Rio verde/GO, 2021.

ELLIS, R. H.; ROBERTS E.H. Improved equations for the prediction of seed longevity. **Annals of Botany**, v.45, n.1, p.13-30,1980.

ENGEL, T. C. et al. Influência da maturação e do armazenamento no potencial fisiológico de sementes de soja. **Iguazu Science**, v. 2, n. 3, p. 60-64, 2024.

ESTELLE, M. Growth versus development. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 10, n. 12, p. 813-813, 2009.

FATIMA, A.; JAN, S. A. Approaches for sustainable production of soybean under current climate change condition. **MOJ Biology and Medicine**, v. 8, n.2 , p. 27-31, 2023.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special Report, n. 80).

FERREIRA, A. S. et al. Tamanho, qualidade fisiológica e ocorrência de sementes verdes influenciadas pela taxa de semeadura em soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 2, n.2, p. 595-605, 2017.

FERRARI, J. M.; SILVA, D. V.; FIDELIS, R. R. Comportamento da qualidade fisiológica de sementes de soja esverdeadas durante o armazenamento. **Revista Caribeña de Ciências Sociales**, v. 12, n. 7, p. 3055-3060, 2023.

FRANÇA NETO, J. B. et al. **Semente esverdeada de soja e sua qualidade fisiológica**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 8 p. (Circular Técnica, n. 38).

FRANÇA NETO, J. B. et al. **Semente esverdeada de soja: causas e efeitos sobre o desempenho fisiológico**. Londrina: Embrapa Soja, 2012. 16 p. (Circular Técnica, n. 91).

FRANÇA NETO, J. B. et al. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 82 p.

GALLO, C.; ENRICO, J. M.; CRAVIOTTO, R.; ARANGO, M. Variabilidad de la viabilidad y vigor de lotes de semillas de soja con presencia de simientes verdes pertenecientes a cultivares de distintos grupos de maduración producidos en das fechas de siembra. **Revista de Investigaciones Agropecuarias**, v. 38, n. 2, p. 133- 140, 2012.

GONZATTI, J. G. R. et al. **As sementes esverdeadas de soja e os aspectos de perda de qualidade fisiológica**. 2023. 26p. Trabalho de urso de curso (Graduação em Agronomia) - Instituto Federal Goiano (IF Goiano), Campus de Urutaí/GO, 2023.

HEATON, J. W.; MARANGONI, A. G. Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. **Trends in Food Science e Technology**, v. 7, n. 1, p. 8–15, 1996.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/42436-ibge-preve-safra-de-322-6-milhoes-de-toneladas-para-2025-com-crescimento-de-10-2-frente-a-2024>>. Acesso em: 07 Abr. 2025.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. In Pörtner H.-O., Roberts D. C., Tignor M., et al. (Eds.), **Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, 2022.

JALINK, H. et al. Chlorophyll fluorescence of Brassica oleracea seeds as a non-destructive marker for seed maturity and seed performance. **Seed Science Research**, v. 8, n. 4, p. 437-443, 1998.

LEMES, E.M.; CATÃO, H. C. R. M. Soybean seed Coat cracks and Green seeds—predisposing conditions, identification and management. **Seeds**, v. 3, n. 1, p. 133-148, 2024.

LIMA, J. J. P. et al. Molecular characterization of the acquisition of longevity during seed maturation in soybean. **PLOS one**, v. 12, n. 7, p. e0180282, 2017.

LIMA, M. S. S. **Influência do percentual de sementes esverdeadas de soja no comportamento da longevidade com diferentes ambientes de armazenamento**. 2021. 63p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônomicas) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Botucatu/SP, 2021.

LUCCAS, D. A. **Caracterização fisiológica, bioquímica e molecular em sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) com retenção de clorofila**. 2018. 195 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA), Botucatu/SP, 2018.

LUDWIG, E. J. et al. Estresse hídrico na qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com tiامتoxam e polímeros. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 10, 2023.

MACÊDO, D. B. et al. Análise de qualidade fisiológica em cultivares de soja submetidas a testes de vigor. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 16, n. 2, p. e3109-e3109, 2024.

MANDARINO, J. M. G. **Coloração esverdeada nos grãos de soja e seus derivados**. Embrapa Soja-Comunicado Técnico (Infoteca-E), 2005.

MANDARINO, J. M. G. **Grãos Verdes: Influência na Qualidade dos Produtos à Base de Soja**. EMBRAPA: Londrina, Brazil, 2012. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/53614/1/CT90-OL1.pdf>>. Acessado: 17 Jun. 2023.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2ª ed. 660 p. 2015.

MEDINA, P.F. et al. Composição física e qualidade de lotes de sementes de soja com incidência de sementes esverdeadas. **Infomativo ABRATES**, v.7, n.1/2, p.36, 1997.

NEITZKE, T. R.; ROSA, R.; AMBROSANO, L.; SILVA, C. A. T.; SILVA, T. R. B. Análise de componentes agrônomicos e suas correlações na cultura da soja. **Peer Review**, v. 6, n. 5, p. 281-296, 2024.

NUNES, G. H. C. et al. Sementes esverdeadas e qualidade de sementes de soja produzidas em campos de multiplicação com diferentes altitudes no sudoeste goiano. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 10, p. 23563-23581, 2023.

PÁDUA, G. P. de et al. Response of soybean genotypes to the expression of green seed under temperature and water stresses. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, p. 140-149, 2009a.

PÁDUA, G. P. et al. **Determinação do nível máximo de tolerância de sementes esverdeadas em lotes de sementes de soja**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 14., 2005, Foz do Iguaçu. Resumos... Pelotas: Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, Informativo ABRATES, Pelotas, v.15, ago. 2005. Número especial.

PÁDUA, G. P. et al. Incidence of green soybean seeds as a function of environmental stresses during seed maturation. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, p. 150-159, 2009b.

PÁDUA, G. P. et al. Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica e na produtividade da cultura da soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, p. 9-16, 2010.

PÁDUA, G. P. et al. Tolerance level of green seed in soybean seed lots after storage. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, p. 128-138, 2007.

PARDO, F. F. et al. Qualidade fisiológica de sementes de soja esverdeadas em diferentes tamanhos. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 3, p. 39-43, 2015.

PELLISSARI, F.; COIMBRA, R. A. Sementes de soja esverdeadas: causas e consequências na qualidade fisiológica. **Scientific Electronic Archives**, v. 16, n. 4, 2023.

PERISSATO, S. M. **Esverdeamento em sementes de soja: novos insights a partir do estudo de associação genômica ampla**. 2024. 92p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura), Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Câmpus de Botucatu/SP, 2024.

RANGEL, M. A. S. et al. Presença e qualidade de sementes esverdeadas de soja na região sul do estado do Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 127-132, 2011.

SHACKIRA, A. M. et al. Green seed photosynthesis: What is it? What do we know about it? Where to go?. **Plant Physiology Reports**, v. 27, n. 4, p. 573-579, 2022.

SILVA, G. F. et al. Physiological quality of soybean seeds as a function of soil management systems and pre-harvest desiccation. **Agronomy**, v. 13, n. 3, p. 847, 2023.

SMANIOTTO, T. A. de S. et al. Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 446-453, 2014.

SOBRINHO, A.F.S. Classificação de Sementes de soja maduras e esverdeadas por meio de métodos ópticos. 70 p. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Automação). Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras/MG, 2019.

TAIZ, L., ZEIGER, E., 2017. **Fisiologia vegetal**. Volume Eletrônico, 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 888p.

TANAKA, R.; TANAKA, A. Chlorophyll cycle regulates the construction and destruction of the light-harvesting complexes. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v.1807, n. 8, p. 968-976, 2011.

TEIXEIRA, S. B. et al. Green soybean seeds: effect on physiological quality. **Ciência Rural**, v. 50, n. 2, p. e20180631, 2020.

TEIXEIRA, R. N. et al. Gene expression profiling of the green seed problem in soybean. **BMC Plant Biology**, v. 16, n. 1, p. 37, 2016.

ZORATO, M. F. et al. Presença de sementes esverdeadas em soja e seus efeitos sobre seu potencial fisiológico. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, p. 11-19, 2007a.

ZORATO, M. F. et al. Presença de sementes esverdeadas em soja e seus efeitos sobre seu potencial fisiológico. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, p. 11-19, 2007b.

ZUFFO, A. M. et al. Harvest times with chemical desiccation and the effects on the enzymatic expression and physiological quality of soybean seeds. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 361-370, 2020.