



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS - CAMPUS PALMAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA**

JOÃO MARCOS MARTINS DE SOUSA

**ESTABILIDADE PRODUTIVA E POSICIONAMENTO TÉCNICO DE CULTIVARES
DE SOJA (*GLYCINE MAX* L.) NA REGIÃO CENTRAL DO TOCANTINS**

**PALMAS - TO
2026**

JOÃO MARCOS MARTINS DE SOUSA

**ESTABILIDADE PRODUTIVA E POSICIONAMENTO TÉCNICO DE CULTIVARES
DE SOJA (*GLYCINE MAX* L.) NA REGIÃO CENTRAL DO TOCANTINS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel do Curso Superior de Engenharia
Agrônômica do Instituto Federal do Tocantins,
Campus Palmas.

Orientador: Prof. Dr. José Eustáquio Canguçu
Leal

**PALMAS - TO
2026**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

D278e de Sousa, João Marcos Martins
ESTABILIDADE PRODUTIVA E POSICIONAMENTO TÉCNICO DE
CULTIVARES DE SOJA (GLYCINE MAX L.) NA REGIÃO CENTRAL
DO TOCANTINS / João Marcos Martins de Sousa. – Palmas, TO, 2026.
63 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2026.

Orientador: Me. José Eustáquio Canguçu Leal Canguçu Leal

1. Estabilidade. 2. Posicionamento Técnico. 3. Cultivares. I. Canguçu
Leal, José Eustáquio Canguçu Leal. II. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e
pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS - TO
COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA

JOAO MARCOS MARTINS DE SOUSA

ESTABILIDADE PRODUTIVA E POSICIONAMENTO TÉCNICO DE CULTIVARES DE SOJA (*Glycine max* L.) NA REGIÃO CENTRAL DO TOCANTINS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior Bacharelado em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - *Campus* Palmas - TO, como exigência à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em: 11 de junho de 2026

BANCA AVALIADORA

Prof. Me. José Eustáquio Canguçu Leal
IFTO - Campus Palmas - TO

Profa. Dra. Cheila Cristina Naves Barbiero
IFTO - Campus Palmas - TO

Prof. Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'Ana
IFTO - Campus Palmas - TO



Documento assinado eletronicamente por **Edvaldo Vieira Pacheco Santana, Coordenador**, em 11/06/2026, às 15:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cheila Cristina Naves Barbiero, Servidor**, em 11/06/2026, às 15:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Eustaquio Cangucu Leal, Servidor**, em 11/06/2026, às 16:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3214469** e o código CRC **074D63AF**.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS

Campus Palmas 310 Sul, Av. LO 5, s/n, esquina com a Avenida NS 10 - Plano Diretor Sul — CEP 77021-090 Palmas/TO - portal.iftto.edu.br — reitoria@iftto.edu.br

Referência: Processo nº 23236.012596/2026-70

SEI nº 3214469

AGRADECIMENTOS

A Deus acima de tudo. Foi Ele quem me sustentou durante toda essa caminhada, principalmente nos momentos em que os caminhos pareciam mais difíceis, confusos ou até mais fáceis de serem abandonados. Sua mão me guiou e me permitiu chegar até este momento. Sem Deus, nada disso seria possível.

À grande mulher da minha vida, Raimunda Oliveira de Sousa, deixo toda minha gratidão, admiração e amor. Mãe, obrigado por cada esforço, por toda educação, cuidado e apoio incondicional ao longo da minha vida. A senhora sempre será meu ponto mais seguro, minha maior inspiração diária e a pessoa que nunca soltou minha mão nos momentos difíceis. Essa conquista também é sua.

Ao Instituto Federal do Tocantins, agradeço por fazer parte da minha trajetória desde os anos de 2019 a 2026, lugar que marcou profundamente minha trajetória, pelas oportunidades, pelos aprendizados e pelos laços construídos ao longo desses anos. Hoje, aos 22 anos, reconheço o quanto essa caminhada contribuiu para a pessoa que me tornei.

Aos meus amigos de faculdade, em especial Emanuele Monteiro Rodrigues e Felipe Augusto Marques Borges, agradeço pela parceria e pelos momentos compartilhados, que tornaram essa jornada mais leve.

À minha namorada, Maria Luíza Serafim de Souza, obrigado por sempre estar ao meu lado, me apoiando, me acalmando e estendendo sua mão quando eu mais precisei.

E, por fim, mas não menos importante, minha gratidão a todos os professores que fizeram parte da minha formação ao longo desses anos. Em especial, ao professor José Eustáquio Canguçu Leal, ao professor Edvaldo Vieira Pacheco Santana e à professora Cheila Cristina Naves Barbiero, pelos ensinamentos, orientação, paciência e contribuição para minha trajetória acadêmica e profissional.

“Por isso, por amor de Cristo, regozijo-me nas fraquezas, nos insultos, nas necessidades, nas perseguições, nas angústias. Pois, quando sou fraco, é que sou forte.”

II Coríntios 12:10

RESUMO

A soja (*Glycine max* L.) apresenta elevada relevância econômica para o Tocantins, especialmente na região central do estado, caracterizada por variabilidade pluviométrica e transição entre diferentes classes de solo. O estudo teve como objetivo analisar a estabilidade produtiva e propor o posicionamento técnico de cultivares comerciais de soja, considerando a interação genótipo $\times$ ambiente, as limitações edáficas e a distribuição das chuvas. A pesquisa foi conduzida por meio de revisão integrativa da literatura, utilizando ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), boletins técnicos, publicações científicas e dados do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC). Foram avaliadas as cultivares OLIMPO IPRO, NEO 802 I2X, NEO 820 IPRO, CRUZADA CE, DM 80I85 IPRO e ÍMPETO I2X quanto à estabilidade produtiva, adaptabilidade, exigência em fertilidade e resposta ao déficit hídrico. Os resultados indicaram que a irregularidade pluviométrica e as restrições físico-químicas dos solos influenciam diretamente o desempenho agrônomo das cultivares. Materiais com maior plasticidade fenotípica apresentaram maior estabilidade em ambientes restritivos, enquanto cultivares de maior teto produtivo responderam melhor em áreas de maior fertilidade e disponibilidade hídrica. O posicionamento técnico associado à escolha da cultivar e à definição da janela de semeadura mostrou-se fundamental para mitigação dos riscos produtivos na sojicultura do Cerrado tocantinense.

Palavras-chave: Adaptabilidade. Biotecnologia. Genótipo $\times$ Ambiente. Produtividade.

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max L.*) is of great economic importance to the state of Tocantins, especially in its central region, characterized by rainfall variability and contrasting soil classes. This study aimed to analyze productive stability and propose the technical positioning of commercial soybean cultivars, considering genotype $\times$ environment interaction, soil limitations, and regional rainfall distribution. The research was conducted through an integrative literature review based on Value for Cultivation and Use (VCU) trials, technical bulletins, scientific publications, and Agricultural Climate Risk Zoning (ZARC) data. The cultivars OLIMPO IPRO, NEO 802 I2X, NEO 820 IPRO, CRUZADA CE, DM 80I85 IPRO, and ÍMPETO I2X were evaluated regarding adaptability, productive stability, soil fertility requirements, and response to water deficit. The results demonstrated that rainfall irregularity and soil physical and chemical constraints directly affect cultivar agronomic performance. Cultivars with greater phenotypic plasticity showed higher stability under restrictive environments, whereas high-yield cultivars performed better under favorable soil fertility and water availability conditions. Technical positioning associated with appropriate cultivar selection and sowing window definition proved essential for mitigating production risks in soybean cultivation in the Tocantins Cerrado.

Keywords: Adaptability. Biotechnology. Genotype $\times$ Environment. Productivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Fluxograma	32
Gráfico 1 — Distribuição do peso de mil grão (PMG)	38
Gráfico 2 — Nível de exigência em fertilidade do solo por cultivar.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Características biotecnológicas e resistência a estresses e fitotécnicos das cultivares de soja avaliadas.	33
Tabela 2 — Análise fenológica e recomendações de semeadura para cultivares de soja na região central do Tocantins.....	35
Tabela 3 — Comportamento das cultivares de soja frente aos nematoides de cisto e galha nas condições do cerrado brasileiro	40
Tabela 4 — Síntese da adaptabilidade e estabilidade das cultivares de soja com base no modelo de Eberhart e Russell.....	44
Tabela 5 — Relação entre cultivares de soja, ambiente preferencial e resposta ao estresse hídrico no Cerrado Tocantinense.....	47
Tabela 6 — Desempenho agrônômico da soja em diferentes classes de solo; Plintossolos vs. Latossolos	48
Tabela 7 — Matriz de posicionamento técnico: recomendações por ambiente de produção e características edáficas da região central do Tocantins	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	PROBLEMATIZAÇÃO	13
3	OBJETIVOS	13
3.1	Objetivo geral	13
3.2	Objetivos específicos	14
4	JUSTIFICATIVA	14
5	REVISÃO DE LITERATURA	15
5.1	Dinâmica da sojicultura nacional e a consolidação da fronteira agrícola no Tocantins	15
5.2	Avanços no melhoramento genético e a escolha de cultivares de soja	16
5.2.1	As três ondas do melhoramento genético no Brasil	16
5.2.2	Bases genético-moleculares do período juvenil longo	17
5.2.3	Parâmetros agronômicos para escolha de cultivares	18
5.3	Nematoides na cultura da soja no Brasil e no Tocantins	19
5.4	Fundamentos da estabilidade produtiva e posicionamento técnico na região central do Tocantins	20
5.4.1	Interação genótipo × ambiente: fundamentos, modelagem e implicações na estabilidade produtiva	21
5.4.2	Indicadores químicos da fertilidade do solo para soja	22
5.4.3	Pluviometria e variabilidade climática no Tocantins e na região central do estado	23
5.4.4	O posicionamento técnico como estratégia de mitigação	25
5.5	Atributos agronômicos como argumentos de posicionamento	26
5.5.1	Componentes agronômicos associados ao rendimento e à adaptação produtiva	26
5.5.2	Fatores técnicos e econômicos na tomada de decisão	27
5.5.3	O papel da informação e da assistência técnica	28
6	METODOLOGIA	29
6.1	Tipo de pesquisa e delimitação espaço-temporal	29
6.2	Procedimentos de coleta de dados	30
6.3	Variáveis analisadas	30
6.4	Estratégias de análise e sistematização	31
6.5	Fluxograma metodológico	32
6.6	Justificativa do desenho metodológico	32

7	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
7.1	Tecnologias de Proteção e Herbicidas	33
7.2	Análise fenológica e recomendações de semeadura para cultivares de soja na região central do Tocantins	35
7.2.1	Características fenológicas das cultivares avaliadas e implicações práticas para a região central do Tocantins	35
7.2.2	Peso de mil grãos (PMG) e potencial produtivo	37
7.2.3	Comportamento das cultivares frente aos principais fitonematoides da soja	39
7.2.4	Exigência em fertilidade do solo e responsividade genotípica	41
7.3	Desempenho agrônômico e estabilidade fenotípica.....	43
7.3.1	Desempenhos em ensaios regionalizados e inferências	43
7.3.2	Cultivares com inferências técnicas	45
7.3.3	Relação entre cultivares de soja e déficit hídrico	45
7.3.4	Desempenho Diferencial das Cultivares em Classes de Solo	47
7.4	Matriz de posicionamento por ambiente de produção	49
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max L.*) consolida-se como a principal commodity agrícola do Brasil. Na safra 2024/2025, a cultura ocupou uma área de 47,6 milhões de hectares, totalizando uma produção de 169,49 milhões de toneladas, o que posiciona o país como líder mundial em produção e exportação, responsável por aproximadamente 58,7% do comércio global de soja em grãos (Embrapa, 2025; Conab, 2025). Esse desempenho reflete décadas de avanços tecnológicos no bioma Cerrado, onde a expansão da sojicultura, iniciada nos anos 1970, transformou solos pobres em produtivos por meio de práticas como calagem e gessagem, visando mobilizar nutrientes como cálcio e magnésio em profundidade (Embrapa, 2020).

Tais inovações elevaram as produtividades médias de menos de 1 t/ha para os atuais 3,5 a 4 t/ha, sustentando uma parcela significativa da produção nacional em latossolos de baixa fertilidade natural (Embrapa, 2020; Campos et al., 2019).

No estado do Tocantins, parte integrante da região MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), a soja domina o cenário agrícola, ocupando 60% da área plantada (1,6 milhão de hectares em 2025/26, com expansão de 6,7%) e contribuindo com 66% da produção estadual estimada em 5,75 milhões de toneladas (Conab, 2025; Tocantins Rural, 2026a).

Mas o potencial de crescimento é ainda maior, uma vez que o estado do Tocantins representa 38% da área do MATOPIBA, superando dificuldades como: (i) baixa altitude, (ii) ocorrência de solos que exigem manejo criterioso como Plintossolos, Neossolos e Cambissolos, com distribuição heterogênea e mesclada com Latossolos e Argissolos (Almeida et al., 2016; Leite, 2024).

A partir dessa realidade, a região central do estado do Tocantins emerge como um polo estratégico no cenário do agronegócio brasileiro, com destaque para a produção de soja (Tocantins Rural, 2026a). Esta área geográfica, caracterizada por sua localização privilegiada e pela presença de infraestrutura logística robusta, tem contribuído significativamente para o desenvolvimento econômico do estado e para a balança comercial do país (Aprosoja Brasil, 2025). A expansão da cultura da soja na região não apenas reflete a crescente demanda global por commodities agrícolas, mas também evidencia a adaptação e o avanço tecnológico dos sistemas produtivos locais (Embrapa, 2020; Aprosoja Brasil, 2025).

Além dos aspectos produtivos e logísticos, o eixo agrícola central do Tocantins é beneficiado pela proximidade com áreas de produção de sementes de soja de alta qualidade, como Lagoa da Confusão e Cristalândia, que utilizam técnicas avançadas de irrigação (Radar Digital Brasília, 2024). Essa adequação às condições regionais, garante o acesso a insumos

genéticos adaptados às condições edafoclimáticas locais, otimizando a produtividade e a sustentabilidade das lavouras. Em regiões com elevada variabilidade ambiental, como o Cerrado tocantinense, a escolha da cultivar torna-se um fator estratégico para a estabilidade do sistema produtivo (Rosanova et al., 2022). Estudos indicam que a adequada seleção de materiais genéticos, aliada à compreensão da interação genótipo $\times$ ambiente, pode influenciar diretamente o desempenho produtivo e a estabilidade das lavouras, refletindo em diferenças significativas na rentabilidade por hectare (Fundação MT, 2023).

Frente ao cenário apresentado, o presente estudo tem como objetivo analisar a produção de soja na região central do Tocantins, considerando a interação entre condições ambientais, adaptabilidade de cultivares e estratégias de posicionamento técnico, visando compreender seus efeitos sobre a estabilidade produtiva e o desempenho agrônomo da cultura.

2 PROBLEMATIZAÇÃO

Os ambientes agrícolas centrais do Tocantins apresentam uma complexa transição edafoclimática, onde a coexistência de Latossolos de alta fertilidade e Plintossolos com restrições físicas e hídricas impõe um dilema crítico ao planejamento agrícola (Leite, 2024; Dal Santo, 2024). Nesse cenário, o produtor rural enfrenta uma tensão constante entre o posicionamento técnico agressivo, focado em cultivares de altíssimo teto produtivo e biotecnologia de ponta (como OLIMPO IPRO e NEO 802 I2X), e a necessidade de garantir um "piso de segurança" por meio de materiais com estabilidade fenotípica superior (Campos et al., 2019; Carvalho et al., 2013).

A problemática central desta investigação reside na seguinte questão: Em que medida o posicionamento técnico de cultivares de soja de alto potencial genético compromete a estabilidade produtiva em ambientes de transição da região central do Tocantins, e como a interação genótipo $\times$ ambiente ($G \times E$) específica desses materiais (OLIMPO IPRO, NEO 802 I2X, NEO 820 IPRO, CRUZADA CE, DM 80I85 IPRO e ÍMPETO I2X) deve ser interpretada para mitigar os riscos de quebra de safra diante da variabilidade edafoclimática regional? (Campos et al., 2019; Peluzio et al., 2010).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Analisar a estabilidade produtiva de cultivares comerciais de soja (*Glycine max L.*) e os critérios de posicionamento técnico empregados nos ambientes de produção do Tocantins, visando compreender a adaptação e o desempenho agrônomo desses materiais em condições de transição edafoclimática.

3.2 Objetivos específicos

- a. Caracterizar o perfil técnico das cultivares selecionadas (OLIMPO IPRO, NEO 802 I2X, NEO 820 IPRO, CRUZADA CE, DM 80I85 IPRO e ÍMPETO I2X), identificando seus atributos de ciclo, exigência em fertilidade e resistência a estresses;
- b. Avaliar o comportamento agrônomo e a estabilidade fenotípica desses materiais frente à interação Genótipo $\times$ Ambiente (G $\times$ E) na região central do Tocantins, utilizando como base os dados de ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) e literatura científica regional;
- c. Correlacionar o desempenho das cultivares com as limitações edáficas específicas (Latosolos vs. Plintossolos) e a variabilidade pluviométrica da região, identificando os materiais de maior resiliência e teto produtivo para cada condição;
- d. Sistematizar diretrizes de posicionamento técnico que integrem a escolha da cultivar, a biotecnologia e a janela de semeadura, oferecendo um guia prático para a mitigação de riscos e maximização da produtividade regional.

4 JUSTIFICATIVA

A relevância deste estudo está diretamente relacionada à necessidade de reunir e interpretar informações técnicas de forma prática e acessível para a realidade da sojicultura tocantinense, apoiando-se em três pilares fundamentais.

1. Importância científica: o desafio da interação G $\times$ E em baixas latitudes

Cientificamente, a compreensão da interação Genótipo $\times$ Ambiente (G $\times$ E) em regiões de baixas latitudes, como a região central do Tocantins, é um dos maiores desafios do melhoramento genético e da fitotecnia moderna (Carvalho et al., 2013; Peluzio et al., 2010). A rápida evolução das biotecnologias (ENLIST, I2X, IPRO) exige que a ciência valide se o potencial genético teórico se traduz em estabilidade fenotípica real sob condições de estresse hídrico e térmico típicos do Cerrado (Campos et al., 2019; Alves et al., 2023).

2. Relevância econômica e social: segurança alimentar e rentabilidade do produtor

Economicamente, a soja é o motor do agronegócio no Tocantins, e qualquer oscilação na produtividade impacta diretamente o PIB estadual e a viabilidade financeira das propriedades rurais (Conab, 2025; Dal Santo, 2024). O posicionamento técnico equivocado de uma cultivar pode resultar em perdas em anos de veranico, comprometendo a sustentabilidade econômica do produtor e a segurança alimentar (Campos et al., 2019; Abiove, 2024). Socialmente, a estabilidade da produção garante a manutenção de empregos e o desenvolvimento de infraestrutura em pólos agrícolas como o entorno da capital Palmas e Porto Nacional, tornando a precisão técnica uma ferramenta de responsabilidade social e econômica.

3. Contribuição original: o equilíbrio entre teto e piso de segurança

A originalidade deste estudo reside na abordagem do dilema entre o "teto produtivo" (maximização do lucro) e o "piso de segurança" (minimização do risco) em ambientes de transição edáfica. A contribuição original é a proposição de um modelo de decisão que integra biotecnologia, janela de semeadura e resiliência ambiental, oferecendo ao setor produtivo uma ferramenta de mitigação de riscos.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Dinâmica da sojicultura nacional e a consolidação da fronteira agrícola no Tocantins

O deslocamento da soja (*Glycine max L.*) para as baixas latitudes do território brasileiro representa um marco na agronomia tropical, fundamentado na superação de barreiras fotoperiódicas e na correção química de solos altamente intemperizados. Esse processo, consolidado a partir da década de 1970 por meio de programas como o Polocentro (Programa de Desenvolvimento dos Cerrados), instituiu um paradigma produtivo que viabilizou o cultivo da oleaginosa no bioma Cerrado (Embrapa, 2020; Barbosa, 2025). Atualmente, o vetor de expansão se encontra na macrorregião do MATOPIBA, onde o Tocantins se destaca pela posição geoestratégica e pela rápida conversão de áreas antropizadas em sistemas de alta performance tecnológica (Embrapa, 2020)

No cenário agrícola tocantinense, a sojicultura assume um papel estruturante na economia estadual, sendo o principal componente do Valor Bruto da Produção (VBP) e representando mais de 70% da pauta de exportações (Conab, 2025; Tocantins, 2026). A consolidação logística, impulsionada pela Ferrovia Norte-Sul e pelo acesso ao Porto de Itaquí, otimiza o escoamento da safra para o mercado externo, conferindo competitividade ao grão

produzido nas zonas de influência de Porto Nacional e Paraíso do Tocantins (Borghi et al., 2023). Todavia, a estabilidade produtiva nessa região é condicionada por uma acentuada variabilidade climática, com períodos de veranicos (Miranda et al., 2026).

A expansão da sojicultura no Tocantins reflete a consolidação de um modelo produtivo baseado na integração entre avanços tecnológicos, infraestrutura logística e elevada competitividade agrícola. Inserido estrategicamente na macrorregião do MATOPIBA, o estado amplia sua participação no cenário nacional da soja e mantém destaque entre as principais fronteiras de expansão do agronegócio brasileiro (Almeida et al., 2016; Leite, 2024).

5.2 Avanços no melhoramento genético e a escolha de cultivares de soja

O melhoramento genético da soja (*Glycine max L.*) é um processo contínuo e dinâmico, essencial para o desenvolvimento de cultivares que atendam às demandas agronômicas e de mercado (Embrapa, 2020). Este processo visa a ampliação da variabilidade genética para características como produtividade, resistência a pragas e doenças, qualidade nutricional, e, fundamentalmente, a estabilidade e adaptabilidade em diferentes regiões e sistemas de cultivo (Melo, 2024).

No Brasil, os programas de melhoramento da soja, como o da Embrapa, priorizam atualmente uma série de características que visam a sustentabilidade e a competitividade da cultura. Entre os objetivos centrais estão a alta produtividade e estabilidade, a resistência a doenças e nematoides, com destaque para a ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e a mancha-alvo (*Corynespora cassiicola*), o ciclo e arquitetura de plantas adequadas, a resistência/tolerância a insetos (lagartas e percevejos) e, de forma crescente, a tolerância a estresses abióticos, como o déficit hídrico. Adicionalmente, alto teor de proteína e qualidade do óleo (Embrapa, 2020).

5.2.1 As três ondas do melhoramento genético no Brasil

A evolução do melhoramento da soja brasileira pode ser dividida em três fases distintas e complementares, que moldaram o perfil das cultivares modernas:

1. Fase de introdução e aclimatização (até 1970): marcada pela forte dependência de germoplasma de clima temperado, em grande parte oriundo dos Estados Unidos. Durante esse período, o cultivo permaneceu concentrado na Região Sul em razão da sensibilidade

fotoperiódica das cultivares, que apresentavam florescimento antecipado e baixo desenvolvimento vegetativo quando cultivadas em latitudes mais baixas (Espíndola, 2024).

2. Fase de tropicalização (1970 - 2000): o principal avanço técnico desta fase foi a identificação e incorporação de genes que conferem o Período Juvenil Longo (PJL). (Nepomuceno, 2024).

3. Fase de biotecnologia e precisão genômica (2000 - presente): caracterizada pela incorporação de eventos biotecnológicos voltados à resistência a herbicidas e insetos-alvo (tecnologias IPRO, I2X e Enlist), aliada à busca por resiliência abiótica. O melhoramento genético moderno utiliza ferramentas como a seleção genômica ampla e a edição gênica (CRISPR) no desenvolvimento de genótipos com maior estabilidade produtiva e tolerância a estresses hídricos e térmicos, características essenciais para a segurança produtiva (Melo; Embrapa Soja, 2024).

5.2.2 Bases genético-moleculares do período juvenil longo

A principal limitação ecofisiológica para o cultivo de soja em baixas latitudes, como as observadas na Região Central do Tocantins, é a resposta fotoperiódica da cultura. Por ser uma espécie de dias curtos, o florescimento da soja é induzido quando o fotoperíodo é inferior ao limite crítico (Almeida *et al.*, 2025; Lu *et al.*, 2025). Em regiões equatoriais, a reduzida amplitude na duração do dia induziria o florescimento precoce, resultando em plantas com menor estatura e baixa inserção da primeira vagem, características que inviabilizam a colheita mecanizada e comprometem o teto produtivo (Almeida *et al.*, 2025).

A superação dessa barreira biológica ocorreu por meio da inserção da característica de Período Juvenil Longo (PJL), que consiste na extensão da fase em que a planta permanece insensível ao estímulo fotoperíodo. Do ponto de vista molecular, o PJL é controlado primordialmente pela forma recessiva do gene *J* (homólogo ao *Early Flowering 3 - ELF3*), que atua no retardamento da transição para a fase reprodutiva mesmo sob condições indutivas de dias curtos (Stupar *et al.*, 2024). Adicionalmente, a adaptação fenológica é modulada pelo complexo de locos *E* (*E1* a *E11*), responsáveis pela sensibilidade aos fitocromos e pela regulação do relógio circadiano da planta (Li *et al.*, 2024; Cristeli, 2024).

Esse aparato genético assegura que a cultivar acumule biomassa e área foliar (Índice de Área Foliar - IAF) suficientes antes do florescimento (estádio R1). Conforme ressalta Cristeli (2024), o PJL é o pilar que sustenta a viabilidade técnica da sojicultura no Tocantins, permitindo

a estabilidade produtiva e o posicionamento de genótipos com diferentes ciclos em um ambiente de baixa variação fotoperiódica.

5.2.3 Parâmetros agronômicos para escolha de cultivares

A escolha da cultivar de soja (*Glycine max* L.) constitui uma etapa estratégica no planejamento da safra, devido à influência direta sobre o desempenho agrônomo, a estabilidade produtiva e a rentabilidade do sistema de produção. A definição do material mais adequado requer a análise integrada de diferentes características agrônômicas, como o Grupo de Maturidade Relativa (GMR), o hábito de crescimento, a adaptação às condições edafoclimáticas da região, o potencial genético e os níveis de resistência a doenças, nematoides e insetos-praga (Balbinot Junior et al., 2018; Streck, 2024).

Um dos critérios mais decisivos é o hábito de crescimento, que pode ser determinado ou indeterminado. No Cerrado tocantinense, as cultivares de hábito indeterminado predominam em função da superior plasticidade fenotípica e da maior estabilidade adaptativa. (Hackenhaar et al., 2025). Diferente das cultivares determinadas, que encerram o crescimento vegetativo com a emissão da inflorescência terminal, as indeterminadas continuam a crescer e a emitir nós vegetativos simultaneamente à floração (Hackenhaar et al., 2025).

Essa característica confere à planta uma elevada capacidade de compensação de estresse abiótico (Streck, 2024). No início da fase reprodutiva em cenários de veranicos, a planta indeterminada pode abortar flores dos nós inferiores para otimizar o uso de energia, retomando a floração nos nós superiores assim que as condições hídricas se normalizam. Esta "reserva fisiológica" é o mecanismo central que garante a estabilidade do rendimento e a mitigação de riscos em anos de irregularidade pluviométrica (Balbinot Junior et al., 2026).

A biotecnologia integrada às sementes atua como uma ferramenta de proteção sistêmica, mitigando perdas por interferência de plantas daninhas e ataque de lepidópteros (Santos e Lazaretti, 2024). O mercado regional de cultivares de soja no Tocantins central é caracterizado pela predominância de três plataformas tecnológicas utilizadas nos sistemas produtivos locais (Vieira, 2025; Slc Sementes, 2025).

- IPRO (Intacta RR2 PRO®): tecnologia que combina a tolerância ao glifosato com a expressão da proteína *Bacillus thuringiensis* (Bt) (*Cry1Ac*), eficaz contra *Anticarsia gemmatilis* e *Chrysodeixis includens*. Atualmente, apresenta limitações no controle de pragas secundárias do complexo *Spodoptera* spp (Bayer, 2024).

- I2X (Intacta 2 Xtend®): evolução biotecnológica que incorpora três proteínas *Bacillus thuringiensis* (Bt) (*Cry1Ac*, *Cry1F* e *Cry2Ab2*), ampliando o espectro de controle para *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa armigera*. Oferece ainda tolerância ao dicamba para o manejo de dicotiledôneas resistentes ao glifosato (Koschinski e Ecco, 2024).

- Enlist E3® / Conkesta E3®: plataforma que confere tolerância aos herbicidas 2,4-D sal colina, glifosato e glufosinato de amônio, otimizando o manejo de plantas daninhas de difícil controle como *Conyza* spp. e *Digitaria insularis*. A versão Conkesta agrega as proteínas (*Cry1F* e *Cry1Ac*) para o controle de lagartas (Corteva Agriscience, 2021; UFT, 2024).

5.3 Nematoides na cultura da soja no Brasil e no Tocantins

Os fitonematoides constituem um dos principais desafios fitossanitários da cultura da soja no Brasil, sobretudo em sistemas de produção intensivos caracterizados pela sucessão recorrente de culturas hospedeiras e pela baixa diversificação de práticas de manejo (Silva, 2025; Rezende Neto, 2025). Nesse contexto, a expansão da sojicultura no Cerrado brasileiro, associada à elevada intensidade dos sistemas soja-milho, favoreceu o incremento populacional e a disseminação desses patógenos nas principais regiões produtoras do país (Franchini et al., 2022).

Entre as espécies de maior relevância econômica destacam-se o nematoide de cisto da soja (*Heterodera glycines*), os nematoides de galhas (*Meloidogyne* spp.), além do nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*). Essas espécies apresentam elevada capacidade de sobrevivência no solo e ampla adaptação às condições edafoclimáticas brasileiras, dificultando o manejo e favorecendo aumentos populacionais sucessivos ao longo das safras (Borges, 2023). A eficiência dessa resistência, entretanto, está diretamente relacionada à variabilidade genética do patógeno, uma vez que diferentes raças do nematoide apresentam capacidade distinta de infectar determinados genótipos de soja (Alvarenga, 2019).

No Brasil, já foram identificadas diversas raças de *Heterodera glycines*, com destaque para as raças 3, 6, 9, 10,14 e 14 +, frequentemente encontradas nas principais regiões produtoras do Cerrado brasileiro (Vieira, 2025). Segundo Alvarenga (2019), a ampla distribuição dessas populações demonstra elevada capacidade adaptativa do patógeno frente à pressão de seleção promovida pelo uso contínuo de cultivares resistentes.

Na cultura da soja, os nematoides comprometem diretamente o desenvolvimento do sistema radicular, reduzindo a absorção de água e nutrientes e afetando processos fisiológicos

essenciais ao crescimento vegetal (Oliveira, 2025). Como consequência, sintomas como redução do porte das plantas, clorose foliar, desuniformidade da lavoura, formação de reboleiras e redução expressiva do potencial produtivo. Em áreas altamente infestadas, os sintomas podem ser confundidos com deficiência nutricional, compactação do solo ou estresse hídrico, dificultando o diagnóstico em campo (Maicol de Mattos, 2024).

Além dos impactos fisiológicos, os nematoides provocam prejuízos econômicos significativos à sojicultura brasileira. Estimativas apontam que as perdas associadas a esses patógenos representam bilhões de reais anualmente, principalmente em regiões de Cerrado sob sucessão intensiva de culturas hospedeiras (Franchini et al., 2022).

5.4 Fundamentos da estabilidade produtiva e posicionamento técnico na região central do Tocantins

A estabilidade está intrinsecamente ligada aos estudos de adaptabilidade, que permitem identificar materiais com comportamento previsível sob condições específicas ou amplas. Essa abordagem se torna essencial na região central do Tocantins, em que a “janela” de semeadura pode apresentar variações e as temperaturas do solo atingem valores elevados, exigindo materiais com maior resiliência fenotípica (Oliveira, 2025). A avaliação em múltiplos ambientes regionais é indispensável para distinguir genótipos de ampla adaptação daqueles com nichos específicos, garantindo recomendações técnicas mais seguras (Souza Junior, 2026).

O conceito de estabilidade não deve ser interpretado como um atributo isolado do genótipo, mas sim como o resultado emergente da interação mútua entre a genética, o ambiente e o manejo ($G \times A \times M$) (Perin, 2026). Sob essa ótica, materiais que demonstram desempenho superior em condições adversas oferecem uma camada essencial de segurança produtiva, especialmente quando integrados a estratégias de manejo que potencializam sua resiliência natural (Silva, 2025). A geração de informações locais é indispensável, uma vez que resultados obtidos em outras macrorregiões nem sempre se reproduzem com fidelidade nas condições de baixa latitude do Tocantins (Vieira, 2025).

De outro modo o posicionamento técnico transcende a seleção de cultivares com elevado potencial produtivo, abrangendo o ajuste do sistema de produção às particularidades ambientais e operacionais da região, o que viabiliza a integração entre o diagnóstico territorial e o planejamento da safra (Albuquerque et al., 2025).

Portanto, a busca por estabilidade fenotípica deve ser obrigatoriamente acompanhada de um posicionamento técnico estruturado, capaz de converter o rigor do conhecimento científico em resultados mensuráveis e sustentáveis dentro do sistema produtivo (Perin, 2026).

5.4.1 Interação genótipo $\times$ ambiente: fundamentos, modelagem e implicações na estabilidade produtiva

A interação genótipos $\times$ ambientes (GxE) exerce forte influência sobre a expressão do potencial produtivo dos materiais genéticos, representando a resposta diferencial dos genótipos frente às variações ambientais (Perin, 2026). Esse fenômeno ocorre pois o fenótipo não é determinado apenas pela constituição genética, mas pela modulação dessa genética sob condições específicas de cultivo. Consequentemente, uma mesma cultivar pode apresentar comportamentos distintos quando submetida a ambientes contrastantes, o que impõe desafios significativos à identificação de materiais superiores e à recomendação de cultivares com desempenho consistente (Moraes, 2023).

O ambiente é delineado por um complexo de fatores não genéticos que afetam diretamente a manifestação fenotípica (Moraes, 2023). Esses fatores são classificados em previsíveis e imprevisíveis: os previsíveis incluem variáveis de manejo como fertilidade do solo, época de semeadura e densidade de plantas; já os imprevisíveis englobam variações climáticas estocásticas, como pluviosidade irregular, oscilações térmicas e pressão de patógenos (Carvalho, 2021). Na região central do estado, a predominância de fatores imprevisíveis, especialmente a irregularidade das chuvas, torna a modelagem da interação GxE indispensável para assegurar a previsibilidade produtiva (Carrijo e Fonseca, 2025).

Visando mitigar os impactos da interação GxE, o melhoramento genético emprega modelos mistos fundamentados no procedimento REML/BLUP — que integra a Máxima Verossimilhança Restrita (REML) para a estimação de componentes de variância e a Melhor Predição Linear Não Viesada (BLUP) para a predição de valores genéticos (Resende, 2016). Adicionalmente, o uso de algoritmos de Redes Neurais Artificiais (RNA) tem se destacado pela capacidade de modelar interações não lineares complexas. Estas ferramentas possibilitam a estimação de parâmetros genéticos com elevada acurácia, permitindo classificar genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade mesmo sob acentuada variabilidade ambiental (Resende, 2016).

Esse fenômeno compromete a eficiência da seleção, pois pode alterar a classificação dos genótipos e reduzir a precisão das estimativas de ganho genético, visto que quanto maior a

intensidade dessa interação, menor tende a ser a previsibilidade do desempenho das cultivares, o que exige protocolos rigorosos de avaliação em múltiplos ambientes para assegurar a confiabilidade das recomendações técnicas (Oliveira, 2025).

5.4.2 Indicadores químicos da fertilidade do solo para soja

A fertilidade do solo para a cultura da soja é avaliada principalmente por atributos químicos relacionados à disponibilidade de nutrientes e às condições adequadas para o desenvolvimento radicular das plantas (Ronquim, 2020). Entre os principais indicadores utilizados na interpretação agronômica destacam-se o Potencial Hidrogeniônico (pH), a Saturação por Bases (V%), os teores de Fósforo (P) e Potássio (K), além da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e dos níveis de matéria orgânica do solo (Ronquim, 2020; Oliveira, 2021).

A acidez do solo constitui um dos principais fatores limitantes à produtividade da soja em regiões tropicais, especialmente nos solos altamente intemperizados do Cerrado brasileiro (Embrapa, 2023). O pH e a Saturação por Bases (V%) são amplamente utilizados como indicadores da qualidade química do ambiente produtivo. A soja apresenta melhor desempenho em solos com pH entre 6,0 e 6,5, faixa em que ocorre maior disponibilidade da maioria dos macronutrientes e redução da toxidez por alumínio trocável (Al^{3+}). Paralelamente, valores de Saturação por Bases entre 60% e 70% são considerados adequados para o desenvolvimento da cultura e expressão do potencial produtivo das cultivares (Lins, 2023).

O nitrogênio (N) representa o nutriente mais exigido pela cultura da soja, participando diretamente de processos fisiológicos relacionados ao crescimento vegetativo, síntese de proteínas e enchimento de grãos (Pereira et al., 2022). Diferentemente de outras culturas agrícolas, a principal fonte de nitrogênio para a soja ocorre por meio da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), estabelecida pela simbiose entre a planta e bactérias do gênero *Bradyrhizobium spp.*. Esse processo pode suprir grande parte da demanda nutricional da cultura, reduzindo a necessidade de adubação nitrogenada mineral (Hungria, Nogueira e Araujo, 2021).

Entre os macronutrientes, o fósforo atua como um dos elementos mais limitantes nos solos do Cerrado, devido à elevada capacidade de adsorção pelos óxidos de ferro e alumínio presentes em solos tropicais altamente intemperizados (Vinha et al., 2021; Cruz, 2023). A deficiência desse nutriente compromete o crescimento radicular, o estabelecimento inicial das plantas e o desenvolvimento da cultura. Além disso, baixos níveis de fósforo reduzem a

eficiência da Fixação Biológica de Nitrogênio, uma vez que o nutriente participa diretamente dos processos energéticos relacionados à nodulação (Lins, 2023). A interpretação dos teores de fósforo varia conforme a textura do solo e o método analítico utilizado. Em solos argilosos avaliados pelo método Mehlich-1, teores inferiores a $6,0 \text{ mg/dm}^3$ são considerados baixos, enquanto valores superiores a $9,0 \text{ mg/dm}^3$ indicam elevada disponibilidade do nutriente (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016).

De outro modo o potássio representa o segundo nutriente mais exportado pela cultura da soja e desempenha funções importantes na regulação osmótica, ativação enzimática e transporte de fotoassimilados (Lins, 2023). Onde, está diretamente relacionado à tolerância das plantas a estresses abióticos, como déficit hídrico e altas temperaturas, condições frequentemente observadas em regiões de Cerrado. Em termos agronômicos, teores inferiores a $0,15 \text{ cmolc/dm}^3$ são considerados limitantes ao desenvolvimento da cultura, enquanto valores acima de $0,30 \text{ cmolc/dm}^3$ indicam adequada disponibilidade do nutriente no solo (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016).

Outros macronutrientes, micronutrientes como boro, zinco, manganês, molibdênio e cobalto também apresentam elevada importância para a cultura da soja, principalmente em ambientes de alta exigência produtiva. Esses nutrientes participam de processos metabólicos relacionados à atividade enzimática, formação de estruturas reprodutivas e eficiência da Fixação Biológica de Nitrogênio (Santos, 2025; Pereira et al., 2022). A adequada construção da fertilidade do solo se torna uma das principais ferramentas para maximizar a expressão do potencial produtivo das cultivares de soja, permitindo melhor posicionamento dos materiais em diferentes ambientes de produção e maior estabilidade produtiva em condições edafoclimáticas variáveis (Embrapa, 2020; Caveião, 2022).

5.4.3 Pluviometria e variabilidade climática no Tocantins e na região central do estado

A dinâmica pluviométrica do estado do Tocantins é caracterizada por uma acentuada variabilidade espaço-temporal, sendo influenciada por sistemas meteorológicos distintos que atuam das regiões Norte a Sul do país (Pinto, 2013; Roldão; Ferreira, 2019). De acordo com a Embrapa (2022), a precipitação média anual no estado é de aproximadamente 1.676 mm, embora os índices apresentem uma amplitude significativa, oscilando entre 1.255 mm nas áreas mais secas do sudeste e até 2.152 mm nas regiões mais úmidas ao norte. A distribuição temporal das chuvas no Tocantins não ocorre de maneira homogênea.

Estudos indicam que aproximadamente 70% da precipitação anual ocorre entre os meses de novembro e março, coincidindo com o período de maior demanda hídrica da soja (Ferreira et al., 2021). Entretanto, a ocorrência de veranicos – períodos de 7 a 15 dias sem precipitação – é recorrente e pode comprometer o desenvolvimento da cultura, especialmente nos estádios de florescimento e enchimento de grãos (Campos et al., 2023).

Na região central do Tocantins, abrangendo municípios como Porto Nacional, Paraíso do Tocantins e áreas adjacentes, a precipitação média anual situa-se entre aproximadamente 1.650 e 1.700 mm, caracterizando um regime climático sazonal típico do Cerrado brasileiro (Inmet, 2025). Em Porto Nacional, os índices pluviométricos anuais aproximam-se de 1.664 mm, enquanto em Paraíso do Tocantins os volumes acumulados variam entre 1.792 e 1.920 mm anuais, com forte concentração das chuvas entre os meses de novembro e abril e período seco bem definido entre junho e setembro (Climatempo, 2025; Batista, 2020).

A chuva atua como o principal fator que sustenta o potencial produtivo da soja. A cultura necessita de 450 a 800 mm de água bem distribuídos ao longo do ciclo para atingir produtividades elevadas, durante o período reprodutivo (R1–R6), a demanda hídrica é maior, podendo chegar a 8 mm/dia de evapotranspiração dependendo da cultivar e das condições ambientais (Silva et al., 2021).

Por outro lado, a falta de chuva nos estádios críticos atua diretamente sobre o rendimento. No florescimento (R1–R2), o déficit hídrico reduz o número de flores e aumenta o abortamento floral (Campos et al., 2023). Na formação de vagens (R3–R4), considerada a fase mais sensível, a restrição de água pode causar perdas superiores a 40% da produtividade. Já no enchimento de grãos (R5–R6), o déficit compromete peso e diâmetro dos grãos, reduzindo qualidade e rendimento final (Campos et al., 2023). Dados técnicos mostram que sob déficit de 50% durante a floração, houve abortamento de 29,2% das flores e queda de até 45% na produtividade (Ferreira et al., 2021).

A variabilidade climática na região central é influenciada pela proximidade com a bacia do Rio Tocantins e pela atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que frequentemente canaliza umidade da Amazônia para o centro do estado durante o verão austral (Silva neto et al., 2020). Entretanto, autores como Mendes (2020) alertam que, apesar dos altos índices médios, a região tem apresentado irregularidades na distribuição das chuvas nos últimos anos, com atrasos no início do período chuvoso e veranicos mais prolongados, o que impõe desafios significativos para o planejamento agrícola e a gestão dos recursos hídricos locais.

Além do déficit hídrico, o excesso de chuvas também representa risco. Chuvas intensas durante a colheita dificultam o manejo, atrasam operações e aumentam perdas pós-colheita. O

excesso hídrico favorece doenças de final de ciclo e pragas como a mosca branca (*Bemisia tabaci*), além de reduzir a qualidade dos grãos. No Tocantins, produtores relatam que chuvas em fevereiro podem atrapalhar a colheita e comprometer a rentabilidade, mesmo em safras com boa produtividade (Campos et al., 2023).

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) define janelas de semeadura entre 10 de outubro e 20 de dezembro, buscando reduzir riscos de veranicos e déficit hídrico (Mapa, 2022). Entretanto, a variabilidade pluviométrica pode deslocar a janela ideal, exigindo manejo adaptativo e uso de cultivares com maior estabilidade fenotípica (Evangelista et al. 2018)

5.4.4 O posicionamento técnico como estratégia de mitigação

O conceito de posicionamento, introduzido por Ries e Trout (1981), descreve a forma como um produto é estruturado para ocupar um espaço diferenciado na percepção do público-alvo. No setor de sementes, essa ideia evoluiu para o chamado posicionamento técnico-comercial, entendido como a estratégia utilizada pelas empresas obtentoras para comunicar os atributos específicos de suas cultivares e construir uma percepção de valor junto aos produtores rurais (Cavalcante e Silva, 2022; Vieira, 2025). A prática consiste em transformar a superioridade genética em vantagem competitiva clara, alinhando a imagem da cultivar às demandas do sistema produtivo (Alves, 2023).

Do ponto de vista agrônomo, o posicionamento técnico é a aplicação prática dos conceitos de estabilidade e adaptabilidade (Albuquerque et al., 2025). Onde envolve a definição precisa de variáveis como densidade de semeadura, época de plantio e a alocação de variedades em diferentes texturas de solo. Na região central do Tocantins, o posicionamento estratégico busca o escalonamento de risco, fundamentado na premissa de que o produtor não deve concentrar 100% de sua área em uma única cultivar ou janela de semeadura (Silva, 2025). Essa diversificação é a ferramenta primária para mitigar as incertezas climáticas e operacionais da região (Embrapa, 2025).

O posicionamento das sementeiras utiliza a base teórica de Porter (1985) para definir a competitividade de seus materiais. No segmento de soja, a diferenciação, o custo e o foco estratégico são aplicados ao portfólio de cultivares a partir de quatro eixos principais:

- a) Desempenho superior: foco no teto produtivo e potencial máximo em ambientes de alta fertilidade e favorabilidade climática.
- b) Segurança e estabilidade: ênfase na constância de rendimento e resiliência a estresses bióticos e abióticos (veranicos e pragas).

c) Adequação específica: foco em nichos e desafios localizados, como áreas com alta pressão de nematoides ou solos arenosos.

d) Inovação tecnológica: valorização de biotecnologias embarcadas e características exclusivas que simplificam o manejo (Cavalcante e Silva, 2022; Vieira, 2025).

Segundo Dallastra 2022, a recomendação técnica atual foca na diversificação de Grupos de Maturação (GM), ao utilizar materiais de ciclo 8.0 associados a materiais 8.3, o produtor garante que as fases críticas de floração e enchimento de grãos ocorram em momentos distintos, minimizando o impacto de um eventual veranico. O posicionamento técnico é, em última análise, a gestão estatística do risco climático no campo, visando a média produtiva da propriedade em detrimento de recordes isolados e arriscados (Dallastra, 2022).

5.5 Atributos agrônômicos como argumentos de posicionamento

Os atributos agrônômicos são características essenciais que definem o desempenho de uma cultivar diante das condições do campo. Eles funcionam como recursos biológicos que permitem à planta enfrentar estresses bióticos, como pragas e doenças, e abióticos, como déficit ou excesso hídrico (Silva, 2025; Mendes; Almeida, 2025). No posicionamento técnico, esses atributos assumem papel central, pois sustentam as recomendações de uso de cada material em diferentes ambientes de produção (Silva, 2025).

5.5.1 Componentes agrônômicos associados ao rendimento e à adaptação produtiva

O rendimento da soja é resultado de um conjunto de fatores genéticos e ambientais que atuam de forma integrada. Trata-se de um caráter poligênico, em que múltiplos genes e suas interações determinam atributos fenotípicos diretamente relacionados à eficiência produtiva da planta (Dal Santo, 2024). A análise desses componentes permite compreender como cada material expressa seu potencial em diferentes condições de solo e clima. Entre os atributos mais relevantes destacam-se:

- **Peso de mil sementes (PMS):** indicador direto de produtividade e de alta herdabilidade. Valores elevados reforçam o teto produtivo, mas exigem maior disponibilidade hídrica no enchimento de grãos (R6). Em solos de baixa retenção, como plintossolos concrecionários, cultivares com PMS intermediário tendem a apresentar maior estabilidade frente a veranicos (Slc sementes, 2025; Souza, 2025).

- **Número de vagens por planta:** atributo diretamente associado ao potencial de rendimento. Plantas com maior número de vagens conseguem compensar falhas de estande e ampliar a produção por área. Contudo, esse componente é altamente sensível ao déficit hídrico nos estádios R3–R4, quando ocorre a formação das vagens (Campos et al., 2023).
- **Potencial de ramificação:** cultivares com elevada emissão de ramos laterais compensam falhas de estande, garantindo fechamento do dossel e maior interceptação de radiação fotossinteticamente ativa, mesmo sob populações reduzidas (Donmario, 2025).
- **Altura de inserção da primeira vagem:** atributo decisivo para eficiência da colheita mecanizada. Inserções muito baixas (<12 cm) aumentam perdas e danos às plataformas de corte, especialmente em solos pedregosos como os plintossolos pétricos da região central do Tocantins (Dal santo, 2024; Researchgate, 2024).
- **Arquitetura de planta:** plantas com porte equilibrado e distribuição uniforme de ramos favorecem interceptação de luz, reduzem acamamento e melhoram a eficiência no uso de água e nutrientes (Sediyama, 2023).
- **Ciclo e precocidade:** cultivares precoces permitem escapar de veranicos tardios e alinham o ciclo às janelas de semeadura do ZARC, reduzindo riscos climáticos. Já materiais de ciclo médio ou tardio podem explorar melhor ambientes férteis, desde que haja regularidade pluviométrica (Martinez; Souza, 2021; Sediyama et al., 2023).
- **Resistência ao acamamento:** cultivares de haste rígida e arquitetura compacta reduzem perdas na colheita e garantem maior aproveitamento da área em sistemas de alta produtividade (Bayer, 2025).
- **Eficiência no uso de recursos:** atributos ligados à capacidade de explorar água e nutrientes em diferentes profundidades do solo, fundamentais em ambientes de restrição hídrica ou fertilidade limitada (Embrapa, 2025).

5.5.2 Fatores técnicos e econômicos na tomada de decisão

O processo decisório na escolha de cultivares envolve múltiplos fatores técnicos e econômicos, nos quais o potencial produtivo assume elevada relevância, embora seja constantemente ponderado por critérios relacionados à estabilidade e à segurança produtiva.

1. **Estabilidade fenotípica como ativo de segurança:** cultivares que demonstram baixo desvio da regressão (σ_d^2) em safras de irregularidade pluviométrica extrema tornam-se referências de mercado. A estabilidade é tratada como um "seguro agrícola intrínseco", priorizando materiais que garantam o cumprimento de contratos de *barter* mesmo sob estresse abiótico (Fernandes et al., 2023; Ribeiro; Almeida, 2022).

2. **Rentabilidade líquida e custo de oportunidade:** investimento na semente e nos *royalties* da biotecnologia é pesado contra a projeção de preços da commodity. Em anos de margens apertadas, a decisão migra para materiais de "genética de fundo" robusta, que permitam uma condução fitossanitária mais eficiente e menor custo de proteção de cultivos sem comprometer o teto produtivo (Conab, 2025; Safras & Mercado, 2026).

3. **Soberania operacional e facilidade de manejo:** biotecnologia é um fator de decisão pragmático. Tecnologias que permitem o controle simplificado de plantas daninhas resistentes e pragas polífagas reduzem a complexidade operacional da fazenda. A facilidade de manejo atua como um mitigador de erros gerenciais, permitindo que a logística de aplicação seja otimizada em grandes áreas (Croplife Brasil, 2025; Perón, 2023).

5.5.3 O papel da informação e da assistência técnica

Na porção central do estado, o processo de tomada de decisão do produtor rural tem se tornado cada vez mais complexo diante da velocidade com que novas cultivares são disponibilizadas no mercado. A ampla diversidade de opções, embora represente um avanço para a modernização da sojicultura, também introduz o chamado “paradoxo da escolha”, em que o excesso de alternativas pode gerar insegurança e dificultar o posicionamento adequado de cada material (Moreira et al., 2024).

O processo decisório é alimentado por dias de campo, ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) e, fundamentalmente, pelos resultados de unidades demonstrativas locais. A confiança na assistência técnica, seja ela pública, privada ou de cooperativas é o elo que valida a informação técnica. O engenheiro agrônomo atua como um "curador de tecnologia", filtrando as opções de mercado para aquelas que efetivamente se adaptam à realidade edafoclimática de cada gleba (Moura, 2026; Aprosoja Brasil, 2025).

Por fim, fatores psicossociais como a reputação da empresa sementeira e a eficiência do suporte pós-venda (garantia de vigor e germinação) possuem peso decisivo. O produtor busca parceiros que ofereçam segurança jurídica e técnica. A decisão final é, portanto, um equilíbrio

delicado entre a ambição de maximizar a produtividade e a necessidade imperativa de garantir a sobrevivência financeira da atividade agrícola (Vieira, 2025; Dal Santo, 2024).

6 METODOLOGIA

O presente estudo adota um desenho metodológico fundamentado na Revisão Integrativa da Literatura, de natureza aplicada, e objetivos descritivo-exploratórios (Gil, 2022; Marconi; Lakatos, 2021). A escolha deste método foi obtida pela necessidade de sistematizar e interpretar dados técnicos dispersos sobre o desempenho de cultivares de soja na região central do Tocantins, permitindo uma síntese baseada em evidências científicas e documentais (Souza; Silva; Carvalho, 2010).

A revisão integrativa é reconhecida como a abordagem metodológica mais ampla entre as revisões, pois permite a inclusão simultânea de pesquisas experimentais e não experimentais, bem como dados empíricos e teóricos, para a compreensão completa do fenômeno estudado (Whittemore; Knalf, 2005). No contexto das ciências agrárias, este método é particularmente valioso para consolidar resultados de múltiplos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) conduzidos em diferentes safras e locais, mitigando o viés de análises pontuais (Campos et al., 2019).

6.1 Tipo de pesquisa e delimitação espaço-temporal

A pesquisa é classificada como bibliográfica e documental, utilizando fontes primárias (boletins de VCU, catálogos técnicos oficiais) e secundárias (artigos científicos, teses e dissertações) (Gil, 2022).

O recorte espacial compreende a região central do Tocantins, englobando pólos agrícolas estratégicos como: Porto Nacional, Paraíso do Tocantins, entre outras regiões. Esta região foi selecionada por apresentar uma complexa transição edafoclimática, caracterizada pela coexistência de Latossolos Vermelhos distróficos (de boa aptidão agrícola) e Plintossolos Pétricos concrecionários (com severas restrições físicas e hídricas) (Leite, 2024; Dal Santo, 2024). O clima predominante é o Tropical com estação seca (Aw, segundo a classificação de Köppen), com precipitação média anual de 1.676 mm, concentrada entre novembro e março, e temperatura média de 26,2°C (Alvares et al., 2013; Inmet, 2025).

O recorte temporal foca na análise de dados gerados e publicados entre as safras 2018/19 e 2025/26. Esta delimitação é fundamental para garantir a atualidade das biotecnologias analisadas, refletindo o portfólio comercial vigente das empresas obtentoras.

6.2 Procedimentos de coleta de dados

Para assegurar o rigor metodológico e a consistência interna, a coleta de dados seguiu as etapas propostas por Souza, Silva e Carvalho (2010) para revisões integrativas. Foram estabelecidos os seguintes critérios para a seleção dos estudos e dados:

- **Região de estudo:** Tocantins ou bioma Cerrado com condições edafoclimáticas semelhantes.
- **Recorte temporal:** Publicações dos últimos 10 anos, garantindo a relevância das biotecnologias abordadas.
- **Foco temático:** Trabalhos que apresentassem informações sobre adaptação, estabilidade agrônômica, características de manejo e recomendação de cultivares de soja em ambientes de Cerrado.

A execução prática ocorreu em três frentes complementares:

1. Levantamento em bases científicas: foi conduzido um levantamento abrangente da literatura científica e documental nas bases de dados Google Scholar, SciELO e no Repositório Institucional da Universidade Federal do Tocantins (UFT). Utilizaram-se os descritores booleanos: ("soja" OR "Glycine max") AND "Tocantins" AND ("estabilidade produtiva" OR "interação genótipo x ambiente").

2. Triagem de dados técnicos de obtentoras: a coleta de informações incluiu a consulta a catálogos oficiais de cultivares comerciais amplamente utilizadas na região (edições 2024, 2025 e 2026) para extração dos atributos agronômicos.

3. Compilação de ensaios de vcu e zoneamento: a análise contemplou dados de produtividade média e comportamento regional extraídos de Boletins de Pesquisa da Embrapa Pesca e Aquicultura (ex.: Campos et al., 2019), além de informações presentes em portarias do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) referentes ao Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) da cultura da soja no Tocantins (Brasil, 2024).

6.3 Variáveis analisadas

Para a composição da matriz de posicionamento técnico, foram definidas as seguintes variáveis de análise:

- Desempenho agrônomo: interpretação comparativa de informações relacionadas à adaptação, estabilidade e potencial produtivo das cultivares em diferentes condições de cultivo.
- Estabilidade: avaliada por meio de parâmetros biométricos, como o coeficiente de regressão (β_i) e os desvios da regressão ($\sigma^2 d_i$).
- Grupo de Maturação (GM): classificação do ciclo de desenvolvimento das cultivares.
- Resposta ao Estresse Hídrico: comportamento produtivo sob condições de déficit hídrico e restrições edáficas (ex: Plintossolos).

6.4 Estratégias de análise e sistematização

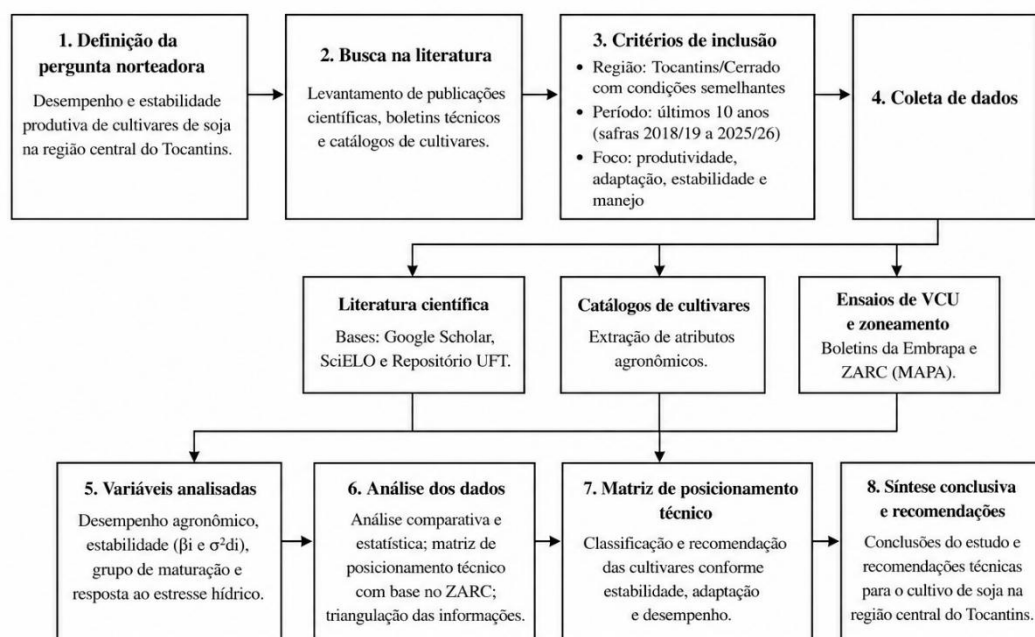
Os dados coletados foram submetidos a uma análise comparativa e interpretativa, estruturada para responder à problemática do posicionamento técnico frente à variabilidade ambiental. A análise foi dividida nos seguintes eixos:

- **Análise de estabilidade fenotípica**: resultados de produtividade reportados na literatura foram interpretados sob a ótica dos modelos biométricos clássicos e multivariados. Priorizou-se a interpretação baseada no método de Eberhart e Russell (1966), que classifica as cultivares quanto à adaptabilidade (coeficiente de regressão, β_i) e estabilidade (desvios da regressão, $\sigma^2 d_i$). Cultivares com $\beta_i = 1$ foram consideradas de adaptabilidade ampla; $\beta_i > 1$, adaptabilidade a ambientes favoráveis; e $\beta_i < 1$, adaptabilidade a ambientes desfavoráveis (Eberhart; Russel, 1966; Cruz; Regazzi; Carneiro, 2012).
- **Matriz de posicionamento técnico**: dados analisados foram cruzados com as janelas de semeadura estabelecidas pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) (Brasil, 2024). Para aumentar a consistência das interpretações, foi aplicada a técnica de triangulação, confrontando informações de catálogos comerciais com resultados empíricos disponibilizados pela Embrapa e pela UFT.
- **Síntese conclusiva**: a partir desse processo, foi elaborado um guia estratégico de posicionamento que pondera o “teto produtivo” — entendido como o potencial genético máximo das cultivares — em relação ao “ piso de segurança”, que representa a resiliência frente a estresses bióticos e abióticos.

6.5 Fluxograma metodológico

Para ilustrar de forma clara e objetiva as etapas operacionais desta pesquisa, foi elaborado um fluxograma metodológico (Figura 1), detalhando desde a definição da pergunta norteadora até a síntese conclusiva.

Figura 1 — Fluxograma



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

6.6 Justificativa do desenho metodológico

A adoção de uma revisão integrativa, baseada em dados de VCU e literatura regional, permitiu reunir informações obtidas em diferentes ambientes e condições de cultivo. A utilização de um experimento conduzido em apenas um local e safra poderia limitar a compreensão da interação Genótipo $\times$ Ambiente ($G \times E$), considerada um dos principais fatores relacionados à variação de desempenho das cultivares.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das informações compiladas em boletins técnicos, catálogos comerciais e ensaios de VCU, foi possível observar padrões de adaptação e desempenho entre os genótipos avaliados.

7.1 Tecnologias de Proteção e Herbicidas

O fortalecimento das plataformas biotecnológicas voltadas à cultura da soja tem se configurado como um dos principais motores da estabilidade produtiva no bioma Cerrado. Nessa perspectiva, a diferenciação entre as tecnologias Intacta RR2 Pro (IPRO), Intacta 2 Xtend (I2X) e Enlist E3 constitui um fator determinante para o posicionamento técnico das cultivares na região central do Tocantins.

Tabela 1 — Características biotecnológicas e resistência a estresses e fitotécnicos das cultivares de soja avaliadas.

Cultivar	Tecnologia	Grupo de Maturação Relativa (GMR)	Resistência a Estresses e Atributos Fitotécnicos (oferecidos pela biotecnologia)
OLIMPO IPRO	Intacta RR2 Pro	8.0	- Tolerância ao glifosato (Roundup Ready®). - Proteção contra lagartas: <i>Anticarsia gemmatilis</i>, <i>Chrysodeixis includens</i>, <i>Spodoptera frugiperda</i> e <i>Helicoverpa armigera</i>.
NEO 802 I2X	Intacta 2 Xtend	8.0	- Tolerância ao glifosato (Roundup Ready®). - Tolerância ao dicamba. - Proteção ampliada contra lagartas: <i>Anticarsia gemmatilis</i>, <i>Chrysodeixis includens</i>, <i>Helicoverpa armigera</i>, <i>Spodoptera frugiperda</i> e <i>Spodoptera cosmiodes</i>. - Maior flexibilidade no manejo de plantas daninhas de folhas largas.
NEO 820 IPRO	Intacta RR2 Pro	8.2	- Tolerância ao glifosato (Roundup Ready®). - Proteção contra lagartas: <i>Anticarsia gemmatilis</i>, <i>Chrysodeixis includens</i>, <i>Spodoptera frugiperda</i> e <i>Helicoverpa armigera</i>.
CRUZADA CE	Conkesta E3	8.5	- Tolerância ao glifosato (Roundup Ready®). - Tolerância ao 2,4-D e ao glufosinato de amônio. - Proteção contra lagartas: <i>Anticarsia gemmatilis</i>, <i>Chrysodeixis includens</i>, <i>Helicoverpa armigera</i> e <i>Spodoptera frugiperda</i>. - Maior flexibilidade no manejo de plantas daninhas (2,4-D, glufosinato e glifosato).
DM 80185 IPRO	Intacta RR2 Pro	8.0	- Tolerância ao glifosato (Roundup Ready®). - Proteção contra lagartas: <i>Anticarsia gemmatilis</i>, <i>Chrysodeixis includens</i>, <i>Spodoptera frugiperda</i> e <i>Helicoverpa armigera</i>.
ÍMPETO I2X	Intacta 2 Xtend	9.0	- Tolerância ao glifosato (Roundup Ready®). - Tolerância ao dicamba. - Proteção ampliada contra lagartas: <i>Anticarsia gemmatilis</i>, <i>Chrysodeixis includens</i>, <i>Helicoverpa armigera</i>, <i>Spodoptera frugiperda</i> e <i>Spodoptera cosmiodes</i>.

Fonte: Embrapa Soja (2020; 2022); Intacta BR (2026); Corteva Agriscience (2026); Sementec (2026); Neogen (2026); Brasmax genética (2026); Don Mario (2026); Aegro (2022).

Os materiais com tecnologia Intacta 2 Xtend (I2X), representados neste estudo pelas cultivares NEO 802 I2X e ÍMPETO I2X, apresentaram desempenho satisfatório no manejo de lagartas desfolhadoras, evidenciando a eficiência da plataforma biotecnológica frente às principais pragas da cultura da soja no Cerrado. Entre as espécies de maior relevância agrônômica destacaram-se *Helicoverpa armigera* (lagarta-helicoverpa) e *Spodoptera cosmioides* (lagarta-preta), reconhecidas pelo elevado potencial de desfolha e pelos danos reprodutivos causados às vagens, fatores diretamente relacionados à redução do potencial produtivo das lavouras (Neogen, 2026; Brasmax genética, 2026).

Os resultados observados indicam que a proteção ampliada conferida pela tecnologia I2X está associada à expressão simultânea de proteínas Bt piramidadas, promovendo maior espectro de controle e maior eficiência no manejo das lagartas em comparação às plataformas de gerações anteriores. Essa característica contribuiu para a manutenção da área foliar durante os estádios vegetativos iniciais, fase considerada crítica para o estabelecimento do potencial produtivo da cultura. Além disso, a piramidação de proteínas Bt reduz a pressão de seleção sobre populações de insetos, favorecendo maior durabilidade da tecnologia quando associada às práticas de Manejo Integrado de Pragas (MIP) (Neogen, 2026; Brasmax genética, 2026).

No manejo de plantas daninhas, a tolerância aos herbicidas dicamba e glifosato conferida pela tecnologia I2X ampliou a flexibilidade operacional no controle de espécies resistentes, especialmente em áreas sob sistema de monocultivo e com histórico de uso repetitivo de herbicidas de um mesmo mecanismo de ação. Espécies como *Conyza canadensis* (buva) e *Digitaria insularis* (capim-amargoso), cada vez mais problemáticas em condições de pressão de resistência, apresentaram melhor controle quando manejadas com a combinação desses herbicidas, em conformidade com o esperado para a plataforma (Sementec, 2026). Contudo, a aplicação de dicamba exige rigor técnico quanto às condições climáticas, à escolha de equipamentos e à utilização de bicos de baixa deriva, a fim de minimizar riscos de deriva sobre culturas sensíveis vizinhas, aspecto que deve ser considerado no planejamento das aplicações em campo (Sementec, 2026).

As cultivares com tecnologia Intacta RR2 Pro (IPRO), representadas neste estudo pelos materiais OLIMPO IPRO, NEO 820 IPRO e DM 80I85 IPRO, apresentaram desempenho consistente no manejo de lagartas da cultura da soja, associando a tolerância ao glifosato à expressão da proteína Bt *CryIAC*. Os resultados observados demonstram que essa tecnologia mantém elevada eficiência no controle de espécies desfolhadoras de importância econômica, contribuindo para redução dos danos foliares e maior preservação do potencial produtivo das lavouras (Neogen, 2026; Brasmax Genética, 2026).

Adicionalmente, a tecnologia IPRO demonstrou elevada compatibilidade com programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP), favorecendo a redução de danos causados por insetos-praga e contribuindo para manutenção do potencial produtivo das lavouras.

A cultivar CRUZADA CE, portadora da tecnologia Conkesta E3, demonstrou desempenho satisfatório no manejo de lagartas e plantas daninhas resistentes, destacando-se pela combinação das proteínas Bt *CryIF* + *CryIAC* associadas à tripla tolerância herbicida ao glifosato, 2,4-D Colex-D e glufosinato de amônio. Os resultados indicaram maior eficiência no controle de lagartas desfolhadoras, incluindo *Helicoverpa armigera*, reduzindo danos foliares

e contribuindo para manutenção do potencial produtivo das lavouras (Corteva Agriscience, 2026). No manejo de plantas daninhas, a tecnologia apresentou maior flexibilidade operacional em comparação às demais plataformas avaliadas, principalmente em áreas com histórico de resistência ao glifosato. A possibilidade de utilização de diferentes mecanismos de ação favoreceu o controle de espécies de difícil manejo, como *Conyza canadensis* e *Digitaria insularis*, além de reduzir a pressão de seleção sobre plantas resistentes (Aegro, 2022).

7.2 Análise fenológica e recomendações de semeadura para cultivares de soja na região central do Tocantins

A escolha de cultivares com ciclos fenológicos compatíveis com as condições edafoclimáticas da região central do Tocantins apresentou elevada importância para a estabilidade produtiva das lavouras. Esta análise detalha o ciclo e o comportamento de diferentes cultivares, enfatizando as implicações para o planejamento da semeadura na região central do Tocantins (Hackenhaar et al., 2025).

7.2.1 Características fenológicas das cultivares avaliadas e implicações práticas para a região central do Tocantins

A análise fenológica das cultivares avaliadas demonstraram alinhamento com as condições edafoclimáticas predominantes na região central do Tocantins. As cultivares nessa faixa de latitude (10°S), mostraram adaptação às baixas latitudes e à irregularidade na distribuição das chuvas ao longo do ciclo da cultura. A maioria dos materiais concentra-se em grupos de maturação relativa entre 8,0 e 8,5, faixa considerada adequada para o Cerrado tocaninense.

Tabela 2 — Análise fenológica e recomendações de semeadura para cultivares de soja na região central do Tocantins

Cultivar	Grupo de Maturação Relativa (GMR)	Ciclo Médio (dias)	Comportamento Fenológico	Implicações e Recomendações para a Região Central do Tocantins
NEO 820 IPRO	8,2	112 – 114	Ciclo médio com comportamento relativamente uniforme. Sensível à temperatura média, regime hídrico no estágio reprodutivo e época de semeadura.	Adequada às condições locais. Semeadura dentro do padrão otimiza o enchimento de grãos e reduz riscos de seca terminal.
NEO 802 I2X	8,0	108 – 110	Ciclo médio com leve redução na duração fenológica. Maior flexibilidade frente a variações na data de plantio.	Recomendada para sincronizar com a disponibilidade hídrica inicial e reduzir o risco de seca terminal.
OLIMPO IPRO	8,0	108 – 110	Perfil fenológico compatível com cultivares de sua faixa de maturação. Boa adaptação às condições locais.	Seguir as recomendações do ZARC para otimizar o enchimento de grãos sob condições climáticas favoráveis.
CRUZADA CE	8,5	113 – 115	Cultivar tardia, com período de enchimento de grãos prolongado, proporcionando maior acúmulo de biomassa sob condições favoráveis.	Avaliar o risco de seca terminal em anos com precipitações antecipadas. Maior potencial produtivo em ambientes com boa disponibilidade hídrica.
DM 80185 IPRO	8,0	108 – 112	Ciclo médio com comportamento fenológico similar a materiais de GMR 8,0. Boa estabilidade ao longo da janela.	Janela ampla de plantio. Equilíbrio entre flexibilidade de semeadura e potencial produtivo.
ÍMPETO I2X	9,0	119 – 125	Ciclo longo, com fenologia estendida. Maior rusticidade e melhor aproveitamento do período vegetativo prolongado, especialmente em ambientes de menor fertilidade ou áreas mais abertas.	Indicado para áreas com menor fertilidade e ambientes mais desafiadores. Maior estabilidade produtiva frente a condições restritivas.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Neogen (2026), Sementes (2026), Brasmax genética (2026), Hackenhaar et al. (2025) e Zoneamento Agrícola de Risco Climático — Soja (MAPA, 2024).

Conforme apresentado na Tabela 2, há predominância de cultivares de ciclo médio, com duração variando entre 108 e 115 dias. Esse comportamento favorece a sincronização dos estádios reprodutivos críticos, como florescimento e enchimento de grãos, com o período de maior regularidade pluviométrica da região. Em sistemas expostos a veranicos, essa característica diminui de forma significativa o risco de perdas por déficit hídrico no final do ciclo, proporcionando mais segurança ao produtor (Brasil, 2024; Miranda et al., 2026).

Os materiais, NEO 820 IPRO, NEO 802 I2X, OLIMPO IPRO e DM 80185 IPRO demonstraram comportamento fenológico equilibrado, compatível com as janelas preferenciais de semeadura recomendadas pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC). Do ponto de vista agrônomo, materiais com esse perfil proporcionam maior previsibilidade produtiva, distribuindo de maneira eficiente o consumo hídrico ao longo do ciclo e reduzindo oscilações decorrentes da variabilidade climática regional (Neogen, 2026; Sementec, 2026; Brasmax genética, 2026).

CRUZADA CE apresentou ciclo ligeiramente mais tardio e maior prolongamento do período reprodutivo. Essa característica favorece maior acúmulo de biomassa e incremento no potencial produtivo em ambientes de alta favorabilidade. Entretanto, implica maior dependência da manutenção das chuvas durante os estádios finais de enchimento de grãos. Em anos com interrupção antecipada do regime pluviométrico, materiais de ciclo mais longo demonstram maior vulnerabilidade ao estresse hídrico tardio, sobretudo em solos com baixa capacidade de armazenamento de água (Battisti et al., 2024; Campos et al., 2019).

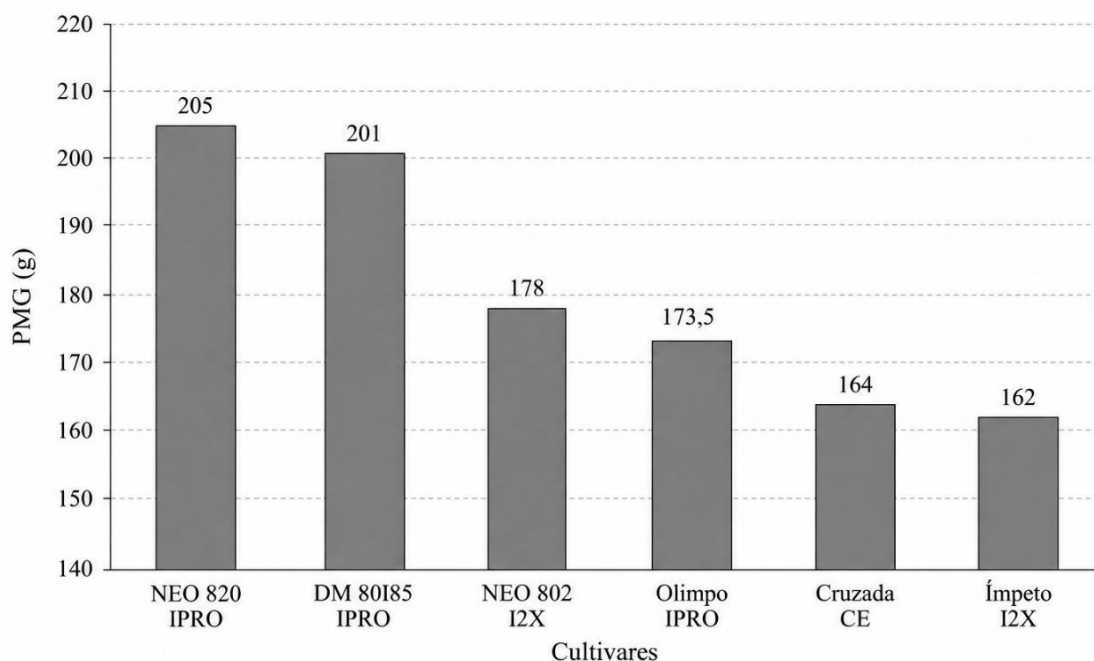
ÍMPETO I2X mostrou o ciclo mais extenso entre as cultivares avaliadas. Essa característica está associada à rusticidade fisiológica e melhor adaptação a ambientes restritivos. O prolongamento do período vegetativo favorece maior desenvolvimento do sistema radicular e maior exploração das camadas subsuperficiais do solo, aspecto relevante em áreas de abertura ou em solos com limitações químicas e físicas. Em condições de menor fertilidade, esse comportamento contribui para maior estabilidade produtiva, mesmo que o teto de rendimento não seja o mais elevado entre os materiais avaliados (Silva, 2025; Dal Santo, 2024).

A flexibilidade operacional proporcionada por cultivares de ciclo intermediário constitui aspecto relevante em sistemas produtivos de grande escala. Pequenas diferenças fenológicas entre materiais permitem o escalonamento das operações de semeadura e colheita, o que reduz a sobreposição de atividades e minimiza gargalos logísticos relacionados ao uso de máquinas, transporte e mão de obra. Ao distribuir os estádios críticos das plantas ao longo do tempo, é possível adequar o momento de maior demanda hídrica às reservas de água do solo e às previsões climatológicas, (Carvalho et al., 2013; Peluzio et al., 2010).

7.2.2 Peso de mil grãos (PMG) e potencial produtivo

O peso de mil grãos (PMG) é um indicador-chave da qualidade fisiológica das sementes e do potencial produtivo das cultivares, refletindo a capacidade de acúmulo de massa durante o enchimento de grãos e resultando da interação entre determinantes genéticos e fatores ambientais (Marcos Filho, 2015). Na presente avaliação, os genótipos analisados exibiram variações significativas no PMG, o que acarreta implicações agronômicas diretas para a estimativa de produtividade e para o delineamento de estratégias de manejo.

O Gráfico 1 sumariza os valores de PMG observados para as cultivares avaliadas, evidenciando a amplitude de resposta dos materiais.

Gráfico 1 — Distribuição do peso de mil grão (PMG)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

No patamar superior de desempenho, destacaram-se as cultivares NEO 820 IPRO e DM 80I85 IPRO. A NEO 820 IPRO liderou com um PMG de 205 g, um indicativo robusto de sua elevada capacidade de enchimento de grãos. Esta característica é frequentemente associada a genótipos que demandam e respondem positivamente a ambientes de alto investimento tecnológico. Sob condições ótimas de fertilidade, disponibilidade hídrica e manejo fitotécnico, a expressão consistente de seu potencial produtivo é maximizada. Em estreita correlação, a DM 80I85 IPRO apresentou um PMG de 201 g, demonstrando um desempenho igualmente elevado. A similaridade entre esses valores sublinha a eficiência no padrão de formação de grãos durante a fase reprodutiva, sugerindo que ambas as cultivares possuem um potencial significativo para sistemas de produção que priorizam o peso individual dos grãos em ambientes favoráveis (Neogen, 2026; Donmario, 2026).

Em uma faixa intermediária de PMG, as cultivares NEO 802 I2X e Olimpo IPRO apresentaram valores próximos, com PMG médio de 178 g para a primeira e uma variação entre 171 e 176 g para a segunda. Estes resultados, que apontam para um potencial produtivo de moderado a alto, são um testemunho da complexa interação genótipo $\times$ ambiente. O equilíbrio fisiológico entre o número de grãos formados e a massa individual de cada um é um fator determinante para a estabilidade do rendimento sob diversas condições de manejo. As variações

observadas para a Olimpo IPRO, por exemplo, podem ser interpretadas como uma resposta tanto às heterogeneidades do ambiente experimental quanto às particularidades dessa interação, reforçando a necessidade de uma avaliação holística que integre o desempenho produtivo com as características morfofisiológicas das cultivares (Sementec, 2026; Brasmax genética, 2026).

A cultivar Cruzada CE registrou PMG de 164 g, valor inferior em comparação aos genótipos de maior massa, mas plenamente coerente com seu perfil agrônomo e posicionamento estratégico em ambientes de alta tecnologia. Destaca-se que o desempenho produtivo não depende exclusivamente do PMG (Brasmax genética, 2026).

Por fim, as cultivares Cruzada CE e Ímpeto I2X representaram o segmento de menor PMG, com 164 g e 162 g, respectivamente. Ainda que esses valores sejam inferiores aos dos genótipos de maior massa, eles se alinham perfeitamente com seus perfis agrônomo e posicionamento estratégico. A Cruzada CE, com 164 g, mantém sua coerência em ambientes de alta tecnologia, onde o PMG é apenas um dos múltiplos fatores que contribuem para o desempenho produtivo. A Ímpeto I2X, com o menor PMG, é caracterizada por sua maior rusticidade e adaptabilidade a ambientes com menor fertilidade natural. Nestas condições, a planta prioriza a estabilidade fisiológica e a sobrevivência, em detrimento da maximização da massa individual dos grãos. Para sistemas de produção com restrições nutricionais, cultivares com este perfil fenotípico oferecem maior segurança e estabilidade de rendimento, mesmo que seu teto produtivo seja intrinsecamente mais baixo em comparação aos materiais de PMG superior (Brasmax genética, 2026).

7.2.3 Comportamento das cultivares frente aos principais fitonematoides da soja

A análise das cultivares avaliadas demonstrou diferenças no comportamento frente ao nematoide de cisto da soja (*Heterodera glycines*), evidenciando a importância da resistência genética como ferramenta no manejo do patógeno em sistemas produtivos do Cerrado. Os resultados indicam que a resposta varietal varia entre os materiais analisados, principalmente em função da diversidade genética das raças dos nematoides presentes nas áreas de cultivo (Silva et al., 2021). Dessa forma, a escolha adequada da cultivar deve considerar a compatibilidade do material com o perfil populacional do nematoide presente na área.

Tabela 3 — Comportamento das cultivares de soja frente aos nematoídes de cisto e galha nas condições do cerrado brasileiro

Cultivar	Resistência ao nematoíde de cisto (<i>Heterodera glycines</i>)	Raças com resistência	Nematoíde de galha (<i>Meloidogyne</i> spp.)	Situação fitossanitária
DM 80I85 IPRO	Resistente / Moderadamente resistente	Resistente à raça 3; moderadamente resistente às raças 6, 9, 10, 14 e 14+	Suscetível	Resistência específica para cisto; suscetível a galha.
Ímpeto I2X	Resistente / Moderadamente resistente	Resistente à raça 3; moderadamente resistente às raças 6, 9, 10, 14 e 14+	Suscetível	Resistência específica para cisto; suscetível a galha.
NEO 820 IPRO	Suscetível	Não apresenta resistência confirmada	Suscetível	Ausência de resistência a cisto e a galha.
NEO 802 I2X	Suscetível	Não apresenta resistência confirmada	Suscetível	Ausência de resistência a cisto e a galha.
Cruzada CE	Suscetível	Não apresenta resistência confirmada	Suscetível	Ausência de resistência a cisto e a galha.
Olimpo IPRO	Suscetível	Não apresenta resistência confirmada	Suscetível	Ausência de resistência a cisto e a galha.

Fonte: Adaptado de Don Mario (2025), Neogen (2025), SLC Sementes (2025) e Franchini et al. (2024).

As cultivares Ímpeto I2X e DM 80I85 IPRO demonstraram resistência ao nematoíde de cisto (*Heterodera glycines*). Ambas são classificadas como resistentes à raça 3 e moderadamente resistentes às raças 6, 9, 10, 14 e 14+, conforme informações técnicas dos obtentores e distribuidores comerciais (Brasmax genética, 2026; Donmario, 2026).

Esta resistência possui relevância agrônômica no Cerrado tocantinense, particularmente em sistemas de sucessão soja-milho e alta intensidade de cultivo. A presença de cultivares com este nível de resistência contribui para a redução da multiplicação do nematoíde no solo e a diminuição da pressão de inóculo em safras subsequentes, promovendo maior estabilidade produtiva (Silva et al., 2021). A resistência moderada, embora não elimine o patógeno, restringe sua reprodução no sistema radicular, minimizando prejuízos à absorção hídrica e nutricional das plantas em áreas com infestação moderada (Alvarenga, 2019).

A cultivar DM 80I85 IPRO, apesar da resistência ao nematoíde de cisto e de apresentar características de rusticidade e elevado potencial de adaptação, é suscetível a nematoídes de galha (*Meloidogyne* spp.). Similarmente, a Ímpeto I2X, resistente ao nematoíde de cisto e adaptada a ambientes de baixo e médio potencial produtivo, oferece potencial para áreas com histórico de infestação por *Heterodera glycines*, especialmente onde limitações edafoclimáticas intensificam os efeitos do parasitismo radicular (Brasmax genética, 2026; Donmario, 2026).

Por outro lado, as cultivares NEO 820 IPRO, NEO 802 I2X, CRUZADA CE e OLIMPO IPRO não apresentaram informações técnicas consistentes relacionadas à resistência genética aos principais nematoides associados à cultura da soja. Nas fontes consultadas, esses materiais foram classificados como suscetíveis ao nematoide de cisto e aos nematoides de galha, apesar de apresentarem elevado potencial produtivo e ampla adaptação agrônômica (Brasmax genética, 2026; Donmario, 2026; Neogen, 2025).

Em cultivares suscetíveis, a maior multiplicação dos nematoides no sistema radicular tende a intensificar os danos fisiológicos relacionados à redução da absorção de água e nutrientes, comprometendo o desenvolvimento vegetativo, a estabilidade produtiva e a expressão do potencial genético dos materiais (Franchini et al., 2024). Um fator adicional de preocupação é a elevada ocorrência de *Pratylenchus brachyurus* em áreas produtoras de soja no Tocantins. Apesar da disponibilidade de informações sobre resistência ao nematoide de cisto em algumas cultivares, dados conclusivos sobre a resistência efetiva a *P. brachyurus* são escassos (Borges, 2023).

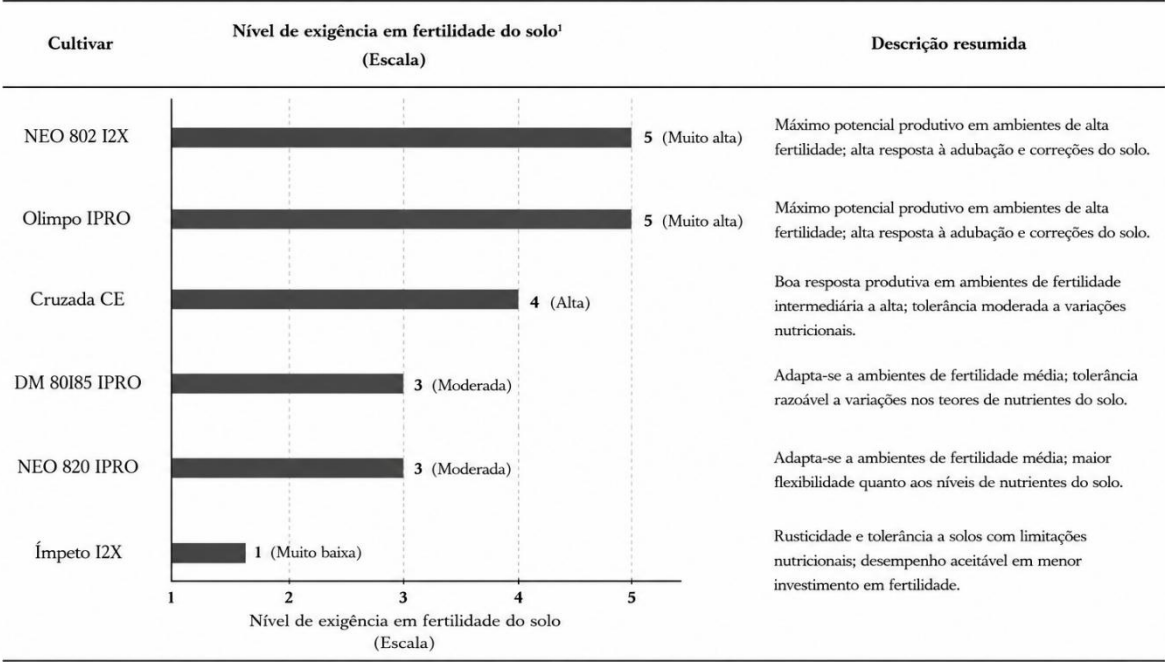
Assim, a resistência genética deve ser utilizada como ferramenta complementar dentro do manejo integrado de fitonematoides, associada à rotação de culturas, utilização de plantas de cobertura e monitoramento populacional do solo ao longo das safras (Franchini et al., 2024).

7.2.4 Exigência em fertilidade do solo e responsividade genotípica

A classificação da exigência em fertilidade do solo em uma escala de 1 a 5, é amplamente utilizada em portfólios de sementes de soja como: Brasmax, Neogen, Monsoy, onde atua como uma ferramenta agrônômica que correlaciona o potencial genético da cultivar com a disponibilidade química de nutrientes no solo. Esta escala orienta o produtor no posicionamento correto das sementes, garantindo que genótipos de alto teto produtivo sejam alocados em ambientes construídos, enquanto genótipos rústicos sejam destinados a áreas com limitações nutricionais (Wang *et al.*, 2023). A responsividade do genótipo frente à variabilidade na disponibilidade química do solo define sua aptidão agrônômica, sobretudo em sistemas que operam sob diferentes níveis de investimento em correção e adubação (Fancelli, 2020; Silva *et al.*, 2024).

O Gráfico 2 apresenta a classificação das cultivares avaliadas quanto à sua exigência em fertilidade do solo.

Gráfico 2 — Nível de exigência em fertilidade do solo por cultivar



¹ Escala: 1 = muito baixa; 2 = baixa; 3 = moderada; 4 = alta; 5 = muito alta.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de pesquisa (2025).

Cultivares de alta exigência (nível 5)

NEO 802 I2X e OLIMPO IPRO foram classificadas no nível mais elevado de exigência em fertilidade. Estes genótipos expressam seu máximo potencial produtivo em ambientes submetidos a programas intensivos de correção química e manejo nutricional. Condições como pH ajustado, maior capacidade de troca catiônica (CTC) e disponibilidade adequada de fósforo (P) e potássio (K) favorecem maior expressão produtiva dessas cultivares. A alta responsividade dessas cultivares às adubações de manutenção e corretivas as torna indicadas para áreas com histórico de manejo avançado e capacidade de investimento contínuo em fertilização (Sementec, 2026; Brasmax genética, 2026).

Cultivares de exigência elevada (nível 4)

CRUZADA CE foi classificada com nível 4 de exigência. O material apresentou adaptação favorável em ambientes de média a alta fertilidade, mantendo resposta satisfatória mesmo sob pequenas variações nutricionais do solo. Sua eficiência no aproveitamento de nutrientes é notável, com incrementos de desempenho observados em áreas submetidas a manejo químico e orgânico adequado (Brasmax genética, 2026).

Cultivares de exigência moderada (nível 3)

Em um patamar de exigência moderada (nível 3), situaram-se as cultivares NEO 820 IPRO e DM 80I85 IPRO. Estes materiais permitem adaptação satisfatória a ambientes de fertilidade média, demonstrando maior flexibilidade frente às variações nos teores de nutrientes do solo. A capacidade de manter produtividade estável com práticas de manejo fertilizante moderadas, sem a necessidade de correções intensivas, posiciona essas cultivares como opções versáteis para diversos sistemas de produção (Neogen, 2026; Donmario, 2026).

Cultivares de baixa exigência (nível 1)

A cultivar ÍMPETO I2X apresentou menor exigência em fertilidade do solo, característica que reforça sua rusticidade e tolerância a ambientes com limitações nutricionais e condições edafoclimáticas restritivas. O material mantém desempenho agrônômico satisfatório mesmo em áreas com menor investimento em correção química do solo ou em sistemas de produção mais extensivos. Esse perfil amplia sua adaptação a ambientes menos favoráveis, especialmente em áreas com maior variabilidade hídrica e limitações físicas do solo (Brasmax genética, 2026).

7.3 Desempenho agrônômico e estabilidade fenotípica

A análise da estabilidade fenotípica, fundamentada no modelo biométrico de Eberhart e Russell (1966), constitui uma metodologia consolidada para quantificar a adaptabilidade e a previsibilidade do desempenho de cultivares em diferentes ambientes (Eberhart; Russell, 1966; Peluzio; Afférri; Steinmacher, 2010). O método possibilita distinguir entre genótipos responsivos (adaptados a ambientes favoráveis) e genótipos estáveis (adaptados a ambientes desfavoráveis), informação crítica para o posicionamento técnico em regiões com variabilidade ambiental pronunciada.

7.3.1 Desempenhos em ensaios regionalizados e inferências

A interpretação individual do comportamento das cultivares evidenciou diferenças nos padrões de adaptabilidade e estabilidade produtiva entre os materiais avaliados. A análise dos parâmetros biométricos obtidos em ensaios multiambientes, associada às informações técnicas disponibilizadas pelas obtentoras, permitiu observar cultivares com maior resposta a ambientes favoráveis, assim como materiais com desempenho mais estável em condições restritivas.

Tabela 4 — Síntese da adaptabilidade e estabilidade das cultivares de soja com base no modelo de Eberhart e Russell

Cultivar	Exigência em Fertilidade	Adaptabilidade (β_i)	Perfil de Adaptabilidade	Estabilidade (σd_i^2)
NEO 820 IPRO	Nível 3 (Média)	$\beta_i = 1,13$	Ampla (Responde proporcionalmente a variados ambientes)	Significativo (1,17)
Olimpo IPRO	Nível 5 (Alta)	$\beta_i = 0,33$	Ambientes Desfavoráveis (Alta rusticidade produtiva)	Significativo (1,64)
NEO 802 I2X	Nível 5 (Alta)	$\beta_i > 1$ (Inferido)	Ambientes Favoráveis (Alta resposta a investimento)	-
Ímpeto I2X	Nível 1 (Baixa)	$\beta_i < 1$ (Inferido)	Ambientes Desfavoráveis (Alta rusticidade)	-
Cruzada CE	Nível 4 (Alta)	$\beta_i \geq 1$ (Inferido)	Ampla / Ambientes Favoráveis	-
DM 80I85 IPRO	Nível 3 (Média)	$\beta_i \approx 1$ (Inferido)	Ampla / Intermediária	-

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Hackenhaar et al. (2025; 2026), Sementec (2026), Brasmax genética (2026), Don Mario (2026), Bernado et al. (2024) e Peluzio, Afféri e Steinmacher (2010).

a) NEO 820 IPRO

A cultivar NEO 820 IPRO apresentou adaptabilidade ampla, com coeficiente $\beta_i = 1,13$, valor próximo da unidade e sem diferença significativa. Esse resultado indica resposta relativamente equilibrada frente às variações ambientais, permitindo sua utilização em diferentes condições de cultivo (Hackenhaar et al., 2026). Em relação à estabilidade, registrou baixa previsibilidade ($\sigma d_i^2 = 1,17$; significativo), aspecto que deve ser considerado no planejamento da lavoura em anos de maior variabilidade climática.

b) OLIMPO IPRO

Para OLIMPO IPRO, o coeficiente $\beta_i = 0,33$ indicou adaptação mais associada a ambientes desfavoráveis. Valores inferiores à unidade normalmente estão relacionados a materiais menos responsivos ao incremento tecnológico, porém com maior manutenção produtiva sob condições restritivas (Hackenhaar et al., 2026; Peluzio; Afféri; Steinmacher, 2010). A estabilidade foi considerada baixa ($\sigma d_i^2 = 1,64$; significativo), refletindo a complexidade da interação genótipo $\times$ ambiente.

7.3.2 Cultivares com inferências técnicas

NEO 802 I2X, CRUZADA CE, DM 80I85 IPRO e ÍMPETO I2X não participaram dos ensaios multiambientes regionais avaliados. Assim, as interpretações relacionadas ao modelo de Eberhart e Russell foram realizadas a partir de características técnicas descritas em folders comerciais, catálogos das obtentoras e estudos conduzidos em regiões com condições ambientais semelhantes.

c) NEO 802 I2X

O material apresenta características compatíveis com adaptação a ambientes favoráveis ($\beta_i > 1$). A elevada exigência em fertilidade e o alto teto produtivo descrito pelas obtentoras sugerem maior resposta sob condições de elevada disponibilidade hídrica e nutricional (Sementec, 2026).

d) ÍMPETO I2X

Apresenta perfil mais associado a ambientes restritivos ($\beta_i < 1$). A menor exigência em fertilidade, aliada à rusticidade e ao sistema radicular vigoroso, favorece sua utilização em áreas com menor disponibilidade nutricional ou maior pressão de nematoides (Brasmax genética, 2026; Slc Sementes, 2025).

e) CRUZADA CE

Apresenta perfil de adaptabilidade ampla, com tendência a responder positivamente em ambientes favoráveis ($\beta_i \geq 1$). Seu ciclo mais tardio (GMR 8,5) e exigência em fertilidade nível 4 demandam boa distribuição hídrica até o final do ciclo, embora exista risco de instabilidade em anos de encurtamento precoce do período chuvoso (Brasmax genética, 2026; Bernardo et al., 2024).

f) DM 80I85 IPRO

Apresenta perfil de adaptabilidade intermediária a ampla ($\beta_i \approx 1$). A resistência a nematoides de cisto e a exigência em fertilidade nível 3 sugerem comportamento próximo à unidade em ambientes de média a alta fertilidade (Donmario, 2026).

7.3.3 Relação entre cultivares de soja e déficit hídrico

A interação entre as cultivares de soja e os índices pluviométricos regionais é um fator importante para o posicionamento técnico dos materiais em sistemas produtivos do Cerrado. A distribuição irregular das chuvas, marcada pela ocorrência de veranicos e períodos de excesso hídrico, interfere diretamente no desenvolvimento fisiológico da cultura, afetando a estabilidade produtiva e a expressão do potencial genético das cultivares. Dessa forma, a análise comparativa entre diferentes materiais permite identificar padrões de tolerância e vulnerabilidade, orientando o manejo em função da variabilidade climática.

As cultivares OLIMPO IPRO e ÍMPETO I2X, ambas da Brasmax, apresentaram maior tolerância às variações hídricas, mantendo adaptação satisfatória em ambientes restritivos, como áreas com ocorrência de plintossolos concrecionários (Brasmax Genética, 2026). Dessa forma, esses materiais podem representar alternativas mais seguras para cultivo em regiões do Tocantins com maior ocorrência de veranicos ou limitações relacionadas à drenagem do solo. (Peluzio et al., 2012; Ferreira et al., 2021).

As cultivares da NEOGEN (NEO 802 I2X E NEO 820 IPRO) apresentaram melhor desempenho em ambientes de fertilidade média a alta, como latossolos profundos. A NEO 802 I2X destacou-se em anos de chuvas regulares, mas mostrou maior suscetibilidade a veranicos prolongados. Em contrapartida, a NEO 820 IPRO evidenciou plasticidade fenotípica, mantendo desempenho consistente mesmo sob déficit hídrico moderado (Neogen, 2026). A cultivar da DONMARIO (DM 80I85 IPRO) confirmou elevado potencial produtivo em latossolos férteis, embora tenha demonstrado maior vulnerabilidade ao déficit hídrico (Donmario, 2026). De forma semelhante, a cultivar CRUZADA CE, da Brasmax, apresentou elevada responsividade em ambientes favoráveis, especialmente em latossolos férteis e bem estruturados, onde consegue expressar de maneira mais eficiente seu potencial produtivo. Contudo, o material demonstrou maior suscetibilidade a veranicos prolongados, característica que reforça a necessidade de seu posicionamento em áreas com menor risco de déficit hídrico e maior capacidade de retenção de água no solo. Em situações de excesso hídrico, apresentou tolerância moderada, com melhor desempenho em solos bem drenados, evidenciando sua adaptação a ambientes de alta tecnologia e elevado investimento produtivo (Brasmax Genética, 2026).

Tabela 5 — Relação entre cultivares de soja, ambiente preferencial e resposta ao estresse hídrico no Cerrado Tocantinense

Cultivar	Empresa	Ambiente preferencial	Resposta ao déficit hídrico	Resposta ao excesso hídrico
OLIMPO IPRO	Brasmax	Plintossolos concrecionários e solos restritivos	Alta resiliência, menor impacto em veranicos	Boa tolerância e estabilidade em ambientes com drenagem irregular
ÍMPETO I2X	Brasmax	Ambientes com drenagem irregular	Elevada resiliência, com menores perdas em déficit hídrico moderado	Boa tolerância ao excesso hídrico
NEO 802 I2X	Neogen	Latosolos profundos e férteis	Maior suscetibilidade a veranicos prolongados	Moderada tolerância
NEO 820 IPRO	Neogen	Ambientes de média fertilidade	Boa plasticidade fenotípica e estabilidade sob déficit hídrico moderado	Moderada tolerância
DONMARIO 80185 IPRO	DonMario	Latosolos férteis de alta produtividade	Maior suscetibilidade ao déficit hídrico	Moderada tolerância
CRUZADA CE	Brasmax	Latosolos férteis e bem estruturados, ambientes de alta tecnologia	Maior suscetibilidade a veranicos prolongados	Tolerância moderada, com melhor desempenho em solos bem drenados

Fonte: Adaptado de Peluzio et al. (2012), Evangelista et al. (2018), Andrade (2020), Ferreira et al. (2021), MAPA (2022) e Campos et al. (2023).

7.3.4 Desempenho Diferencial das Cultivares em Classes de Solo

O desempenho agrônômico das cultivares esteve relacionado às condições edafoclimáticas dos ambientes avaliados. Fatores como fertilidade do solo, disponibilidade hídrica e limitações físicas influenciaram diretamente a adaptação e a estabilidade produtiva dos materiais, evidenciando a importância da interação Genótipo $\times$ Ambiente (G $\times$ E) no posicionamento técnico das cultivares.

Tabela 6 — Desempenho agrônômico da soja em diferentes classes de solo; Plintossolos vs. Latossolos

Aspecto avaliado	Desempenho por classe de solo	
	Plintossolos com restrições físicas	Latossolos com fertilidade construída
Fator limitante predominante	Limitado principalmente pelo estresse hídrico precoce, causado pela reduzida profundidade efetiva e limitações físicas do solo.	Limitado pela disponibilidade de nutrientes, que pode ser corrigida e manejada para expressar o potencial genético das cultivares.
Cultivares mais adaptadas	DM 80I85 IPRO e Ímpeto I2X, de menor exigência em fertilidade e maior rusticidade.	NEO 820 IPRO, NEO 802 I2X e Cruzada CE, de alta responsividade à fertilidade e tecnologia.
Exigência em fertilidade	Baixa a moderada. Cultivares rústicas mantêm desempenho mesmo com baixa disponibilidade de nutrientes (baixa CAD).	Alta. Cultivares responsivas exigem adequada correção e adubação para atingir altos tetos produtivos.
Desempenho produtivo esperado	Produtividades aceitáveis, porém limitadas pelo estresse hídrico e menor capacidade de retenção de água.	Altos tetos produtivos, com forte resposta ao investimento em fertilidade e manejo.
Diferença de produtividade (estimativa)	Referência base, com menores produtividades médias devido às limitações edáficas e hídricas.	Produtividade pode ser de 20% a 40% superior à observada em Plintossolos, com cultivares e épocas de semeadura adequadas.
Implicações para o manejo	Priorizar cultivares rústicas, de ciclo adequado e menor exigência nutricional; adotar manejo conservacionista e atenção ao risco de veranicos.	Investimento em correção e adubação é justificado; escolha de cultivares responsivas e manejo tecnológico para maximizar o potencial produtivo.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Brasmax genética (2026), Don Mario (2026), Neogen (2026), Sementec (2026) e Dal Santo, Freire e Silva (2024).

Nos Plintossolos, solos com restrições físicas acentuadas e reduzida profundidade efetiva, o desempenho agrônômico é condicionado pelo estresse hídrico precoce, resultado da baixa capacidade de armazenamento de água (CAD). Tornando a lavoura mais vulnerável à ocorrência de veranicos e limita a expressão plena do potencial genético das cultivares. Nessas condições, materiais de maior rusticidade e menor exigência nutricional, como DM 80I85 IPRO e ÍMPETO I2X, apresentam adaptação superior. O vigor vegetativo e o sistema radicular robusto permitem explorar camadas subsuperficiais do solo, assegurando produtividades aceitáveis mesmo em ambientes edáficos restritivos (Brasmax genética, 2026; Donmario, 2026). A escolha de genótipos com esse perfil, aliados a ciclos adequados, constitui estratégia fundamental para mitigar riscos associados à baixa CAD e à irregularidade pluviométrica.

Em contraste, os Latossolos oferecem condições mais favoráveis ao cultivo da soja, devido à maior profundidade e elevada capacidade de retenção hídrica. Quando submetidos a programas de correção química e manejo nutricional intensivo, esses solos permitem que cultivares responsivas, como NEO 820 IPRO, NEO 802 I2X e CRUZADA CE, expressem seus tetos produtivos mais elevados. A fertilidade construída, associada ao manejo adequado,

potencializa a eficiência no uso de nutrientes e justifica o investimento em práticas de correção e adubação (Neogen, 2026; Sementec, 2026; Brasmax genética, 2026).

A integração de dados de múltiplos ensaios indica que a produtividade em Latossolos pode superar em 20% a 40% os valores obtidos em Plintossolos, desde que haja seleção criteriosa de cultivares e posicionamento estratégico das épocas de semeadura (Dal Santo; Freire; Silva, 2024).

7.4 Matriz de posicionamento por ambiente de produção

A matriz de posicionamento técnico categoriza as cultivares com base em três dimensões críticas: (1) classe de solo e fertilidade, (2) época de semeadura em relação às janelas do ZARC, e (3) risco climático aceitável pelo produtor.

A metodologia do ZARC é construída com base no Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA), que quantifica a relação entre a evapotranspiração real (ET_r) e a evapotranspiração máxima (ET_m) da cultura (Melo et al., 2020). Os níveis de risco são definidos pela probabilidade de o ISNA ser inferior a um valor crítico, indicando déficit hídrico, sendo os riscos de 20%, 30% e 40% os balizadores para a concessão de seguro agrícola (Brasil, 2024).

Ambiente 1: Latossolos com fertilidade construída, semeadura na janela ideal (risco 20%)

Para áreas de Latossolos com fertilidade construída (pH > 5,5, saturação de bases > 50%, P disponível > 15 mg/dm³) e semeadura na janela ideal de risco climático, recomenda-se o posicionamento de cultivares de alto teto produtivo, como NEO 820 IPRO, NEO 802 I2X e CRUZADA CE (Neogen, 2026; Sementec, 2026; Brasmax genética, 2026). Estes materiais devem ser alocados nos melhores talhões da propriedade para expressarem seu potencial máximo, justificando o investimento em biotecnologia, correção de solo e adubação).

Ambiente 2: Plintossolos ou Latossolos com fertilidade média, semeadura na janela ideal

Para áreas de Plintossolos com restrições físicas ou Latossolos com fertilidade média, a estratégia deve priorizar o "piso de segurança". Nestes ambientes, a recomendação recai sobre as cultivares DM 80I85 IPRO e ÍMPETO I2X, que demonstraram maior resiliência, menor exigência em fertilidade e maior estabilidade fenotípica. Estas cultivares garantem rentabilidade

mínima mesmo sob condições subótimas, reduzindo o risco de prejuízo econômico (Brasmax genética, 2026; Donmario, 2026).

Ambiente 3: Ambientes de médio investimento, flexibilidade de épocas

Para ambientes de médio a alto investimento com possibilidade de flexibilidade nas épocas de semeadura, a cultivar OLIMPO IPRO apresenta-se como uma opção estratégica, oferecendo um balanço adequado entre produtividade e estabilidade, com excelente arranque inicial e ampla região de adaptação (Brasmax genética, 2026).

Tabela 7 — Matriz de posicionamento técnico: recomendações por ambiente de produção e características edáficas da região central do Tocantins

Cultivar	Melhor janela de semeadura	Ambiente preferencial	Classe de solo recomendada	Estratégia de posicionamento	Perfil agrônomo
NEO 820 IPRO	20/10 a 15/11	Ambientes equilibrados e de alta responsividade	Latossolos com fertilidade construída	Maximização da estabilidade produtiva e ampla adaptação regional	Ampla adaptação e elevada estabilidade produtiva
NEO 802 I2X	25/10 a 10/11	Alto investimento tecnológico	Latossolos de alta fertilidade	Exploração do máximo teto produtivo em ambientes responsivos	Maior resposta produtiva em áreas tecnificadas
OLIMPO IPRO	25/10 a 15/11	Médio investimento e ampla adaptação	Latossolos médios e ambientes intermediários	Equilíbrio entre produtividade, segurança e flexibilidade de épocas	Excelente estabilidade fenotípica
ÍMPETO I2X	25/10 a 05/11	Ambientes com maior risco hídrico	Plintossolos e solos com menor capacidade de retenção hídrica	Redução do risco climático e manutenção do piso produtivo	Maior segurança em ambientes restritivos
CRUZADA CE	20/10 a 05/11	Ambientes de alta tecnologia	Latossolos férteis e bem estruturados	Maximização do teto produtivo em janela ideal do ZARC	Cultivar altamente responsiva
DM 80185 IPRO	25/10 a 10/11	Ambientes médios e restritivos	Plintossolos e Latossolos de fertilidade média	Priorização da estabilidade e redução do risco econômico	Boa adaptação a condições subótimas

Fonte: Adaptado de Neogen, Don Mario, Brasmax e Dal Santo et al. (2024-2026)

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das cultivares de soja na região central do Tocantins evidenciou que a estabilidade produtiva depende da interação entre o potencial genético dos materiais e as condições edafoclimáticas da região. As cultivares com maior potencial produtivo apresentaram melhor desempenho em ambientes favoráveis, porém mostraram maior sensibilidade aos períodos de déficit hídrico. Em contrapartida, materiais com maior plasticidade fenotípica mantiveram desempenho mais estável em ambientes restritivos.

Os resultados também demonstraram que a irregularidade das chuvas representa um dos principais fatores limitantes da produtividade da soja no Cerrado tocantinense, reforçando a

importância da escolha da janela de semeadura de acordo com as recomendações do ZARC. A ocorrência de nematoides, principalmente *Heterodera glycines* e *Meloidogyne* spp., também merece atenção, pois a resistência a esses patógenos varia entre as cultivares avaliadas.

Diante desses resultados, é evidente que o posicionamento técnico das cultivares deve considerar, de forma integrada, a adaptabilidade, a estabilidade fenotípica, as características do solo, o histórico fitossanitário da área e as biotecnologias presentes em cada material, sem limitar a escolha apenas ao potencial produtivo. Assim, este trabalho contribui para orientar produtores e profissionais da agronomia na seleção de cultivares mais adequadas às condições da região central do Tocantins, favorecendo sistemas de produção mais eficientes, estáveis e sustentáveis.

.

REFERÊNCIAS

- ABIOVE. **Relatório Cerrado 2021-2024: dinâmica da expansão da soja**. São Paulo: ABIOVE, 2024. Disponível em: https://abiove.org.br/abiove_content/Abiove/Relatorio_Cerrado_2021_2024-1.pdf. Acesso em: 19 mar. 2026.
- AGRIBRASILIS. **Tropicalização da soja em 100 anos do cultivo no Brasil**: entrevista com Alexandre Nepomuceno. AgriBrasilis, 31 out. 2024. Disponível em: <https://agribrasilis.com/2024/10/31/soja-brasil-tropicalizacao1/>. Acesso em: 21 maio 2026.
- ALMEIDA, G. M. et al. A produtividade da soja e seu resultado associado às condições climáticas e viabilidade genética no Brasil. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 1, p. 1-18, 2025.
- ALMEIDA, R. E. M. et al. **Manejo de sistemas de produção em Plintossolos Pétricos**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2020. (Circular Técnica, 28).
- ALVARENGA, P. M. **Marcadores moleculares tipo SNP's associados à resistência ao nematoide de cisto da soja**. Rio Verde: Instituto Federal Goiano, 2019.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- ALVES, A. L. A. Estratégia competitiva no agronegócio brasileiro: uma aplicação da revisão sistemática da literatura. **Revista Foco**. v. 16, n. 1, p. 1-15, 2023.
- ALVES, R. E. A. et al. Efeito do estresse hídrico na produtividade da soja. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 4, p. 1-18, 2023.
- ANDRADE, H. **Correção do solo e culturas de cobertura como estratégias de mitigação de estresse hídrico na soja**. 2025. Tese (Doutorado em Agronomia) – Embrapa Soja, Londrina, 2025. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1174204/1/CorrecaoSoloCulturasCoberturaTeseHosanaAndrade2025.pdf>. Acesso em: 21 maio 2026.
- APROSOJA BRASIL. **Tocantins consolida protagonismo na produção de grãos na safra 2024/2025**. 2025. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/comunicacao/blog/noticias-novidades/2025/07/29/tocantins-consolida-protagonismo-na-producao-de-graos-na-safra-2024-2025/>. Acesso em: 23 mar. 2026.
- BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Phenotypic plasticity in a soybean cultivar with indeterminate growth habit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 1, p. 55-62, 2018.
- BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Phenotypic plasticity and yield components in soybean cultivars with indeterminate growth habit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 61, n. 2, p. 112-125, 2026.
- BARBOSA, R. S. Sustentabilidade e integração lavoura-pecuária na fronteira agrícola do Tocantins. **Revista de Agronegócio da Unitins**, Palmas, v. 12, n. 2, p. 88-105, 2025.

BATTISTI, R. et al. Geographical adaptability for optimizing the recommendation of soybean maturity groups in Brazil. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 1-15, 2024.

BAYER. **Intacta RR2 Pro: a solução que revolucionou a soja**. 2013. Disponível em: <https://www.cropscience.bayer.africa/za/en-za/resources/tools-and-technology/intacta-rr2-pro.html>. Acesso em: 21 maio 2026.

BAYER. **Intacta 2 Xtend: o guia completo da nova biotecnologia**. 2021. Disponível em: <https://www.intactabr.com.br/pt-br.html>. Acesso em: 21 maio 2026.

BERNARDO, B. et al. Épocas de semeadura e grupo de maturidade relativa em soja na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul. **International Journal of Scientific Management and Tourism**, v. 10, n. 5, e1166, 2024. DOI: 10.55905/ijsmtv10n5-033.

BORGES, R. J. **Eficácia do controle biológico e químico de nematoides na cultura da soja**. Urutaí: Instituto Federal Goiano, 2023.

BORGHI, E. et al. **Expansão da soja no MATOPIBA: dinâmicas e perspectivas**. Revista de Política Agrícola, Brasília, v. 32, n. 2, p. 45-62, 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Portaria SPA/MAPA nº 114, de 10 de maio de 2024. Aprova o Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura da soja no estado do Tocantins, ano-safra 2024/2025. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/portarias/2024-2025/tocantins-to/PORTN114SOJATO.retif.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Portaria SPA/MAPA nº 382, de 26 de junho de 2025. Aprova o Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura da soja no estado do Tocantins, ano-safra 2025/2026. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Portaria nº 1.271, de 2025. Estabelece os períodos de semeadura de soja para a safra 2025/2026. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>. Acesso em: 21 maio 2026.

BRASMAX GENÉTICA. **Brasmax Cruzada CE**. Cambé: Brasmax, [2026]. Disponível em: <https://brasmaxgenetica.com.br/cultivares/brasmax-cruzada-ce>. Acesso em: 25 maio 2026.

BRASMAX GENÉTICA. **Brasmax Olimpo IPRO**. Cambé: Brasmax, [2026]. Disponível em: <https://brasmaxgenetica.com.br/cultivares/brasmax-olimpio-ipro>. Acesso em: 25 maio 2026.

BRASMAX GENÉTICA. **Catálogo de Cultivares Cerrado 2025/26**. Cambé: Brasmax, 2025. Disponível em: <https://brasmaxgenetica.com.br/cultivares/cerrado/>. Acesso em: 23 mar. 2026.

BUSCA, M. D. Uso Agrícola do Território e Logística Corporativa: a formação de redes porto-ferroviárias ligadas ao transporte de soja no território brasileiro. **Espaço e Economia**, n. 31, 2024.

BUIATE, E. A cientista Ester Buiate explica como a Intacta 5+ marca... **Instagram**, 27 nov. 2025. Disponível em: <https://www.instagram.com/reel/DRkUkRmkZ9o/>. Acesso em: 21 maio 2026.

CAMPOS, L. J. M. et al. **Produtividade de cultivares de soja em três ambientes do Tocantins**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 21). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1111724/1/BoletimPD212.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2026.

CAMPOS, L. J. M. et al. **Produtividade de cultivares de soja em Plintossolos e Latossolos do Tocantins**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).

CARRIJO, E. V. C. et al. Avanços no melhoramento genético da soja com ênfase na tolerância ao déficit hídrico. **Advances in Agricultural Sciences**, v. 14, n. 1, p. 1-18, 2025.

CARRIJO, E. V. C.; FONSECA, N. V. da. Avanços da biotecnologia e do melhoramento genético da soja no Cerrado: ênfase na tolerância ao déficit hídrico. **Revista Caribeña de Ciencias Sociales**, 2025. Disponível em: <https://revistacaribena.com/ojs/index.php/rccs/article/view/4933>. Acesso em: 21 maio 2026.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V. et al. **Desenvolvimento de Heterodera glycines em cultivares resistentes e suscetível de soja**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 26, n. 4, p. 485-488, 2005.

CARVALHO, E. V. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 3, p. 546-553, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/HnSZMZV5cvXgwvtJCv86wCM/>. Acesso em: 23 mar. 2026.

CAVALCANTE, J. R.; SILVA, N. dos S. **Estratégias de posicionamento técnico-comercial no mercado de sementes de soja**. 2022. Monografia (Especialização em Gestão do Agronegócio) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022.

CAVEIÃO, P. **Coinoculação com Bradyrhizobium japonicum e Azospirillum brasilense aliado a cobalto, molibdênio e boro na cultura da soja**. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022.

CLIMATE FIELDVIEW. **Grupos de maturação da soja: o que são e como influenciam o plantio**. [2026]. Disponível em: <https://climate.com/pt-br/blog/maturacao-soja.html>. Acesso em: 25 maio 2026.

CNN BRASIL. Mercado de soja inicia 2026 com oferta recorde e preços sob pressão. **CNN Brasil**, 29 jan. 2026. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/cnn-money/mercado-de-soja-inicia-2026-com-oferta-recorde-e-precos-sob-pressao/>. Acesso em: 10 fev. 2026.

COLLICCHIO, E. (org.). **Agricultura e mudanças do clima no estado do Tocantins: vulnerabilidades, projeções e desenvolvimento**. Palmas: UFT, 2022. cap. 7.

COLUSSI, J. **O avanço da soja no MATOPIBA: transformações socioeconômicas e desafios logísticos**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2017.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Safra 2024/25**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2025

CORTEVA AGRISCIENCE. **Sistema Enlist: evolução no controle de plantas daninhas**. 2021. Disponível em: <https://www.corteva.com/br/produtos-e-servicos/tecnologias/sistema-enlist.html>. Acesso em: 21 maio 2026.

CRISTELI, P. **Genética e ecofisiologia da soja no Cerrado: o papel do período juvenil longo**. Palmas: Editora UFT, 2024.

CROPLIFE BRASIL. **Adoção de bioinsumos e biotecnologia na safra 2024/2025**. São Paulo: CropLife, 2025.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012. 514 p.

DAL SANTO, T. S. Produtividade da soja em Latossolo Vermelho e Plintossolo Pétrico no Cerrado tocaninense. **Agri-Environmental Sciences**, Palmas, v. 10, n. 1, p. 1-12, nov. 2024. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/view/9928>. Acesso em: 23 mar. 2026.

DAL SANTO, T. S.; SANTOS, D. M. A.; RAMOS, M. R. Produtividade da soja em Latossolo Vermelho e Plintossolo Pétrico concrecionário no Cerrado. **Agri-Environmental Sciences**, Palmas, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2024.

DALLASTRA, A. **Breeding Value e potencial produtivo de progênes de soja convencionais**. 2022. 98 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2022. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/5586/1/Anderson%20Dallastra%20-%20Tese.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2026.

DALLASTRA, A. **Predição fenotípica no melhoramento da soja para diferentes regiões do Brasil**. 2022. 120 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2022.

DEBIASI, H. et al. Práticas culturais na entressafra da soja para o controle de *Pratylenchus brachyurus*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 51, n. 10, p. 1720-1728, 2016. DON MARIO. **DM 80I85 IPRO: características técnicas**. Disponível em: <https://www.donmario.com/br/sementes/soja/dm-80i85-ipro>. Acesso em: 25 maio 2026.

DONMARIO SEMENTES. **Catálogo de Produtos Cerrado 2025**. Londrina: GDM, 2025. Disponível em: <https://www.donmario.com/br/cerrado/>. Acesso em: 23 mar. 2026.

DONMARIO SEMENTES. **Guia de posicionamento de cultivares de soja: safra 2025/2026**. 2025. Disponível em: <https://blog.donmario.com.br>. Acesso em: 21 maio 2026.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x.

EMBRAPA. **Catálogo de cultivares de soja BRS: safra 2025/2026**. Londrina: Embrapa Soja, 2025. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 21 maio 2026.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja: região Central do Brasil 2023/24**. Londrina: Embrapa Soja, 2023. (Sistemas de Produção, 18

EMBRAPA. **Melhoramento genético da soja no Brasil: avanços e desafios**. Brasília, DF: Embrapa, 2022.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2020**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 314 p. (Sistemas de Produção, 17).

EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. ESPÍNDOLA, C. J. Trajetória da tropicalização da soja: desempenho econômico e dinâmicas territoriais. **Entre-Lugar**, v. 15, n. 29, p. 112-135, 2024.

EVANGELISTA, B. A. et al. Possíveis impactos das mudanças climáticas sobre o zoneamento agrícola de risco climático da cultura da soja no estado do Tocantins. In:

EXAME. USDA aumenta para 180 milhões de toneladas safra de soja do Brasil em 2025/26. **Exame**, 9 fev. 2026. Disponível em: <https://exame.com/agro/usda-aumenta-para-180-milhoes-de-toneladas-safra-de-soja-do-brasil-em-2025-26/>. Acesso em: 10 fev. 2026.

FANCELLI, A. L. **Fenologia da soja e práticas básicas de manejo**. Fancelli & Associados, 2020. Disponível em: <https://alfancelli.com.br/fenologia-da-soja-e-praticas-basicas-de-manejo/>. Acesso em: 26 maio 2026.

FARIAS, J. R. B. et al. **Efeito da época de semeadura no rendimento de grãos de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. (Circular Técnica, 51).

FARMNEWS. Exportação mundial de soja: dados apontam novo recorde para 2025-26. **FarmNews**, 19 maio 2025. Disponível em: <https://www.farmnews.com.br/mercado/exportacao-mundial-de-soja-dados-apontam-novo-recorde-para-2025-26/>. Acesso em: 10 fev. 2026.

FERRARI, E. et al. **Dinâmica populacional de *Pratylenchus brachyurus* em sistemas de cultivo no Cerrado**. Scientific Electronic Archives, Sinop, v. 11, n. 4, p. 45-52, 2018.

FERREIRA, M. R. **Variabilidade hidrológica e resiliência climática no Cerrado brasileiro**. 2025. Tese (Doutorado em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2025.

FERREIRA, N. P. **Reação de genótipos de soja às raças de *Heterodera glycines***. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2007.

FERREIRA, V. B.; SILVA, R. Z. **Sistema de preparo do solo para plantio de soja em Plintossolos Pétricos concrecionários no Tocantins**. *UNITINS – Anais de Congresso de Agronomia*, 2021.

FRANCHINI, J. C. et al. **Manejo da fertilidade do solo para redução dos danos causados por *Pratylenchus brachyurus* em soja**. Londrina: Embrapa Soja, 222.

FREIRE, T. M. **Desempenho de cultivares de soja em Latossolos Amarelos distróficos e Plintossolos Pétricos concrecionários**. 2023. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2023.

FRANCO NETO, B. Potencial do Tocantins para implantação de plataforma logística. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 1, p. 522-531, 2023. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v9i1.8270>.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

GROUS, E. **Monitoramento agrícola da soja a partir de índices de vegetação para o MATOPIBA**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2025.

HACKENHAAR, C. et al. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica para teor de óleo em genótipos de soja em diferentes ambientes no Tocantins. **Revista Multidisciplinar de Núcleo de Pesquisa**. v. 13, n. 9, p. 1-15, 2026.

HACKENHAAR, C. et al. Diferentes épocas de semeadura de soja na região central do estado do Tocantins. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, ed. 269, v. 14, 2026. DOI: 10.35265/2236-6717-269-13278.

HACKENHAAR, C. et al. Germoplasma de soja na região central do estado do Tocantins. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 4, p. 01-21, 2025. DOI: 10.55905/oelv23n4-167.

HARTWIG, I. et al. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas de soja no Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 47, n. 2, p. 531-545, mar. 2026.

HUNGRIA, M. et al. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2021. (Circular Técnica, 35).

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. **Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability**. *Biology and Fertility of Soils*, Heidelberg, v. 49, p. 791-801, 2013.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. **Soybean seed co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: a new biotechnological tool to improve yield and sustainability**. *American Journal of Plant Sciences*, Irvine, v. 6, n. 6, p. 811-817, 2015. Disponível em: Embrapa Alice

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1991-2020: Estação Palmas-TO (OMM: 83033)**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2025. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 23 mar. 2026.

INOMOTO, M. M. **Nematoide das lesões radiculares em soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2010

JÚNIOR, S. **Produtividade da soja e mitigação do estresse térmico e hídrico em solo de cerrado**. 2025. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, JABOTICABAL, 2025. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/45049a13-7f8a-4af3-9ddc-8e1aa451180b>. Acesso em: 21 maio 2026.

KOSCHINSKI, V.; ECCO, M. **Comportamento produtivo de diferentes genótipos de soja na região oeste do Paraná**. v. 10, n. 1, p. 1-12, 2024.

LEITE, O. da C. et al. Mapeamento dos solos plânticos e latossolos no estado do Tocantins e seus potenciais agricultáveis. **Sítio Novo**, Palmas, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2024. Disponível em: <https://sitionovo.ifto.edu.br/index.php/sitionovo/article/view/1394>. Acesso em: 23 mar. 2026.

LI, H. et al. J-family genes redundantly regulate flowering time and environmental adaptation in soybean. **Crop Journal**, v. 12, n. 3, p. 512-525, 2024.

LIMA, F. S. O. et al. **Dinâmica populacional do nematoide das lesões radiculares *Pratylenchus brachyurus* em campos de soja no Tocantins e seu efeito na produção**. Nematopica, v. 45, p. 170-177, 2015.

LINS, G. M. **Fertilidade do solo e manejo da acidez para a cultura da soja no Cerrado brasileiro**. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, v. 66, p. 1-12, 2023.

LU, S. et al. Time to bloom: GmREM16a promotes flowering time in soybeans. **Plant Physiology**, v. 198, n. 3, p. 512-525, 2025.

MAICOL DE MATTOS. **Relação entre atributos físicos do solo e ocorrência de nematoides na cultura da soja**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2024.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

MARTINEZ, J. P.; SOUZA, A. F. **Ciclo de cultivares de soja e planejamento da propriedade rural**. Informativo ABRATES, Londrina, v. 31, n. 2, p. 28-35, 2021.

MASSARIOL FILHO, M. C. **Diagnóstico tecnológico em unidades de produção de soja no Tocantins**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônoma) – Instituto Federal do Tocantins, Palmas, 2025.

MENDES, T. R.; ALMEIDA, J. A. Microrganismos mitigadores dos estresses abióticos e promotores de crescimento na soja. Rio Verde: Instituto Federal Goiano, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/5916>. Acesso em: 25 jun. 2026.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Portaria nº 114, de 2024:** aprova o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para a cultura da soja no estado do Tocantins, ano-safra 2024/2025. Brasília: MAPA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/portarias/safra-vigente/tocantins/PORTN114SOJATO.ret.pdf>. Acesso em: 25 maio 2026.

MIRANDA, J. L. et al. Logística e competitividade do Arco Norte na exportação de grãos do Tocantins. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 24, n. 1, p. 45-62, 2026.

MOURA, R. Comparison of methodologies (REML/BLUP vs. GGE Biplot) for selecting soybean genotypes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2026.

MUNAYER, R. et al. **Clima, meio ambiente e segurança humana no Brasil: panorama de respostas e oportunidades**. Berlin: Climate Diplomacy, 2025. Disponível em: <https://climate-diplomacy.org>. Acesso em: 21 maio 2026.

NEOGEN SEMENTES. **Catálogo Cerrado 2026: escolha bem desde o início**. Londrina: Neogen, 2026. Disponível em: <https://www.neogensementes.com.br/cerrado/>. Acesso em: 23 mar. 2026.

NEOGEN SEMENTES. **NEO 820 IPRO: características técnicas**. [2026]. Disponível em: <https://www.neogensementes.com.br/neo820ipro/>. Acesso em: 25 maio 2026.

NIDERA SEMENTES. **Manejo integrado de doenças e nematoides na soja**. 2025. Disponível em: <https://www.niderasementes.com.br>. Acesso em: 21 maio 2026.

OLIVEIRA, F. H. T. **Fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas**. Campina Grande: UFCG, 2021.

OLIVEIRA, D. A. **Nematologia agrícola: fundamentos e manejo de fitonematoides**. Urutaí: Instituto Federal Goiano, 2025.

PELUZIO, J. M. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em várzea irrigada no Tocantins. **Revista de Ciências Agronômicas**, v. 41, n. 3, p. 445-451, set. 2010. DOI: 10.1590/S1806-66902010000300015.

PELUZIO, J. M.; ET AL. **Produtividade de cultivares de soja em Plintossolos e Latossolos do Tocantins**. *Embrapa Pesca e Aquicultura – Comunicado Técnico*, Palmas, 2022.
PEREIRA, C. S. et al. Inoculação na cultura da soja e seu efeito sobre teores foliares de micronutrientes. *Tecno-Lógica*, Santa Cruz do Sul, v. 26, n. 1, p. 1-8, 2022.

PERIN, V. P. Da tropicalização da soja à vocação para o agronegócio: transformações sociotécnicas sobre a cadeia de uma commodity. **Sociologias**, Porto Alegre, v. 28, n. 70, p. 1-30, 2026. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/sociologias/article/view/148429>. Acesso em: 19 mar. 2026.

PETROVINA SEMENTES. **Proteção e biotecnologia na soja: safra 2025/2026**. 2026. Disponível em: <https://www.instagram.com/petrovinasementes>. Acesso em: 21 maio 2026.

PINTO, F. A. et al. Sorção e dessorção de fósforo em solos de Cerrado brasileiro como suporte para o manejo da adubação fosfatada. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 37, n. 6, p. 521-530, 2013.

PINTO, P. H. P. As chuvas no estado do Tocantins: distribuição geográfica e gênese das variações rítmicas. 2013. 176 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/95539>. Acesso em: 25 jun. 2026.

PORTER, M. E. **Competitive Advantage: creating and sustaining superior performance**. New York: Free Press, 1985.

PORTO NACIONAL. Tricampeão! Porto Nacional termina terceiro ano consecutivo na ponta entre os exportadores do estado. **Portal Porto Nacional**, 2026. Disponível em: <https://portonacional.to.gov.br/noticias/4975/tricampeao-porto-nacional-termina-terceiro-ano-consecutivo-na-ponta-entre-os-exportadores-do-estado>. Acesso em: 23 mar. 2026.

PRANDO, A. M. et al. **Coinoculação da soja com Bradyrhizobium e Azospirillum na safra 2024/2025 no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2025. (Circular Técnica, 221).

RADAR DIGITAL BRASÍLIA. Municípios do Tocantins se destacam como polos estratégicos na produção de soja semente fora do calendário tradicional. **Radar Digital Brasília**, 2024. Disponível em: <https://radardigitalbrasil.com.br/agronegocio/municipios-do-tocantins-se-destacam-como-polos-estrategicos-na-producao-de-soja-semente-fora-do-calendario-tradicional/>. Acesso em: 23 mar. 2026.

REIS, A. N. Inovações tecnológicas na produção de soja: impactos na produtividade e gestão de riscos. **Revista Novos Desafios**, v. 10, n. 1, p. 1-18, 2025.

RESEARCHGATE. Produtividade da soja em latossolo vermelho e plintossolo pétrico concrecionário no cerrado. **ResearchGate**, 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/386040114>. Acesso em: 21 maio 2026.

REZENDE NETO, G. C. **Estágio em nematologia e doenças de solo na cultura da soja: GAPES ICT**. 2025. Relatório de Estágio (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Urutaí, 2025.

RIES, A.; TROUT, J. **Positioning: the battle for your mind**. New York: McGraw-Hill, 1981.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2020.

ROSANOVA, C. et al. A expansão do agronegócio da soja no Tocantins: contextualização dos impactos e mudanças no desenvolvimento regional. **Open Science Research IV**, v. 4, p. 161-175, 2022.

ROLDÃO, A. F.; FERREIRA, V. Climatologia do Estado do Tocantins - Brasil. *Caderno de Geografia*, Uberlândia, v. 29, n. 59, p. 1161-1181, 2019. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/346148511_Climatologia_do_Estado_do_Tocantins_-_Brasil. Acesso em: 25 jun. 2026.

SAFRAS & MERCADO. **Projeções para a sojicultura brasileira: Safra 2025/26**. São Paulo: Safras, 2026.

SAFRAS. Conab projeta safra brasileira de soja 2025/26 em 177,6 milhões de toneladas. **Safras**, 12 nov. 2025. Disponível em: <https://safras.com.br/conab-projeta-safra-brasileira-de-soja-2025-26-em-1776-milhoes-de-toneladas/>. Acesso em: 10 fev. 2026.

SANTOS, E. M. A. Relevância do uso de micronutrientes no tratamento de sementes da cultura da soja. *Revista FT*, v. 120, n. 10, 2025.

SANTOS, E. M.; LAZARETTI, N. S. Avaliação comparativa de perda de massa entre sementes de soja convencional e com diferentes biotecnologias. **Revista Thêma et Scientia**, v. 14, n. 1, p. 115-128, 2024.

SANTOS, M. T. G. **Ferrovias Norte-Sul: impactos no desenvolvimento territorial no Estado do Tocantins**. 2020. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2020.

SANTOS, T. **Aumento da incidência de cisto e galha na safra 2024/2025**. [S. l.]: FMT, 2025. Disponível em: <https://www.scribd.com>. Acesso em: 21 maio 2026.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; BARROS, E. G. **Melhoramento da soja**. Viçosa: UFV, 2009.

SEMENTES GOIÁS. **Portfólio Tocantins: safra 2025/2026**. 2025. Disponível em: <https://sementesgoias.com.br>. Acesso em: 21 maio 2026.

SEMENTEC. **Ímpeto I2X: características técnicas**. [2026]. Disponível em: <https://www.sementec.com.br/variedade/impeto-i2x/>. Acesso em: 25 maio 2026.

SEMENTEC. **NEO 802 I2X: características técnicas**. [2026]. Disponível em: <https://www.sementec.com.br/variedade/neo802-i2x/>. Acesso em: 25 maio 2026.

SILVA, A. B. et al. Avaliação, adaptabilidade e desempenho agronômico de cultivares de soja. *Research, Society and Development*, v. 13, n. 7, p. e46362, 2024. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/download/46362/36797/480823>. Acesso em: 25 jun. 2026.

SILVA, A. B. et al. Fósforo no sistema solo-planta: uma revisão. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, v. 22, n. 6, p. 1-15, 2024.

SILVA, B. F. M. **Seleção de progênies de soja visando à resistência ao nematoide de cisto da soja**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2021. Disponível em: UFLA – Resistência ao nematoide de cisto da soja

SILVA, J. F. V. et al. **O nematoide de cisto da soja (Heterodera glycines) no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. Disponível em: Embrapa – Nematoide de cisto da soja no Brasil

SILVA, R. N. **Desempenho agronômico de cultivares de soja em diferentes condições de cultivo**. 2025. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2025.

SILVA, A. P. da *et al.* Soybean yield, nutrient use efficiency, and economic returns of different phosphorus and potassium fertilization strategies in a tropical savanna soil. **Frontiers in Agronomy**, Lausanne, v. 6, p. 1391506, jun. 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/agronomy/articles/10.3389/fagro.2024.1391506/full>. Acesso em: 26 maio 2026.

SLC SEMENTES. **Portfólio completo soja: safra 2025/2026**. 2025. Disponível em: <https://www.slcsementes.com.br>. Acesso em: 21 maio 2026.

SNA. **O papel da Ferrovia Norte-Sul no escoamento da produção do MATOPIBA**. Rio de Janeiro: Sociedade Nacional de Agricultura, 2018. Disponível em: <http://www.sna.agr.br>. Acesso em: 15 mar. 2026.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 102-106, 2010. DOI: 10.1590/S1679-45082010RW1134. Disponível em: <https://journal.einstein.br/pt-br/article/revisao-integrativa-o-que-e-e-como-fazer/>. Acesso em: 23 mar. 2026.

SOUZA, S. M. de. **Avaliação do vigor de sementes e sua influência no desenvolvimento de plântulas de soja**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2025.

STRECK, E. A. Tecnologias e critérios adotados na escolha de sementes de soja por produtores rurais. **Revista Delos**, v. 17, n. 52, p. 1-15, 2024.

STUPAR, R. M. et al. Soybean genomics research community strategic plan: a quinquennial review. **The Plant Genome**, v. 17, n. 4, p. e20516, 2024.

SYNGENTA. **Enlist E3 Expance Soybeans Introduced by Syngenta**. 25 fev. 2026.

TOCANTINS RURAL. Porto Nacional se consolida como polo da soja no Tocantins e sedia abertura da colheita 2025-2026. **Tocantins Rural**, 2026. Disponível em: <https://tocantinsrural.com.br/porto-nacional-se-consolida-como-polo-da-soja-no-tocantins-e-sedia-abertura-da-colheita-2025-2026/>. Acesso em: 23 mar. 2026.

TOCANTINS RURAL. Tocantins projeta safra recorde de grãos em 2025/2026, com 5,75 milhões de toneladas de soja. **Tocantins Rural**, 12 jan. 2026. Disponível em: <https://tocantinsrural.com.br/tocantins-projeta-safra-recorde-de-graos-em-2025-2026-com-575-milhoes-de-toneladas-de-soja-aponta>. Acesso em: 10 fev. 2026.

TOCANTINS. Governo do Estado. Tocantins bate recorde de produção de grãos com safra de 8,9 milhões de toneladas em 2025. **Portal do Governo do Tocantins**, 2025. Disponível em:

<https://www.to.gov.br/secom/noticias/tocantins-bate-recorde-de-producao-de-graos-com-safra-de-89-milhoes-de-toneladas-em-2025/e654280kh3x>. Acesso em: 23 mar. 2026.

TOCANTINS RURAL. **Balanço da safra de grãos e perspectivas para o MATOPIBA**. Palmas: SEAGRO/TO, 2026.

TOWARDS FNB. Soybean Market Size, Growth, and Trends 2025 to 2035. **Towards FNB**, 14 dez. 2025. Disponível em: <https://www.towardsfnb.com/insights/soybean-market>. Acesso em: 10 fev. 2026.

TRADING ECONOMICS. **Soja: 1977-2026 dados**. 9 fev. 2026. Disponível em: <https://pt.tradingeconomics.com/commodity/soybeans>. Acesso em: 10 fev. 2026.

UFT. **Acompanhamento na área de desenvolvimento de materiais de soja**. Palmas: Repositório Institucional da UFT, 2024. Disponível em: <http://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/6654>. Acesso em: 21 maio 2026.

UPF. **Densidade de semeadura e acamamento em soja**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2025. Disponível em: <https://repositorio.upf.br>. Acesso em: 21 maio 2026.

VIEIRA, R. C. P. da S. **Posicionamento técnico-comercial de cultivares de soja na macrorregião Norte do Tocantins**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônoma) – Instituto Federal do Tocantins, Palmas, 2025.

VINHA, A. P. C. et al. Adsorção de fósforo em solos de regiões tropicais. *Nativa*, Sinop, v. 9, n. 1, p. 30-35, 2021

VLI LOGÍSTICA. **Porto Nacional Integrator Terminal (TIPN)**. 2026. Disponível em: <https://www.vli-logistica.com.br/en/ativos-mapa/porto-nacional-integrator-terminal-tipn/>. Acesso em: 23 mar. 2026.

WANG, X. *et al.* Identification of Modern High-Yield Soybean Genotypes for Potassium-Use Efficiency in Sandy Soil of the Brazilian Cerrado. **Agronomy**, Basel, v. 13, n. 10, p. 2639, out. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/10/2639>. Acesso em: 26 maio 2026.

WHITTEMORE, R.; KNAFL, K. The integrative review: updated methodology. **Journal of Advanced Nursing**, v. 52, n. 5, p. 546-553, 2005. DOI: 10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x.

WINFIELD UNITED. **Achieve the Full Potential of Soybean Herbicide Traits**. 2023. Disponível em: <https://www.winfieldunited.com/news-and-insights/achieve-the-full-potential-of-roundup-ready-2-xtend-and-enlist-e3-soybean-traits>. Acesso em: 21 maio 2026.