



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

LARISSA SARTORI DAMETO

**EFEITOS DE DOSES DE BORO NO DESEMPENHO
AGRONÔMICO E QUALIDADE DE SEMENTES DE TRÊS
CULTIVARES DE SOJA**

Londrina
2025

LARISSA SARTORI DAMETO

**EFEITOS DE DOSES DE BORO NO DESEMPENHO
AGRONÔMICO E QUALIDADE DE SEMENTES DE TRÊS
CULTIVARES DE SOJA**

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Adônis Moreira

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

D157e Dameto, Larissa Sartori.

Efeitos de doses de boro no desempenho agrônomo e qualidade de sementes de três cultivares de soja / Larissa Sartori Dameto. - Londrina, 2025. 105 f. : il.

Orientador: Adônis Moreira.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2025. Inclui bibliografia.

1. Glycine max - Tese. 2. Fertilizante boratado - Tese. 3. Componentes de produção - Tese. 4. Qualidade das sementes - Tese. I. Moreira, Adônis . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

LARISSA SARTORI DAMETO

**EFEITOS DE DOSES DE BORO NO DESEMPENHO
AGRONÔMICO E QUALIDADE DE SEMENTES DE TRÊS
CULTIVARES DE SOJA**

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Doutora em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Adônis Moreira

Dr Cristovão G. Plácido Junior

Dra Larissa A. C. Moraes

Dr Jorge João Delfim

Dr Cecílio Viegas Soares Filho

Londrina, 07 de março de 2025.

À Deus onipresente e onipotente.

Aos meus pais, 'Marcia' e
'Devanir' e minha irmã 'Talita'
pelo amor e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus pais, 'Marcia' e 'Devanir', minha irmã 'Talita', minha 'avó Maria Cecilia' e 'tia Adriana', pelo amor, incentivo e apoio que sempre me deram.

À CAPES e CNPq pelos recursos financeiros para realização deste trabalho.

À UEL, especialmente aos professores, e a Embrapa Soja por todas as experiências e aprendizados, além de amizades que levarei para a vida.

Aos técnicos de apoio do Laboratório de Sementes da Embrapa Soja pelos ensinamentos, companheirismo e suporte na realização dos experimentos.

À 'Anelise', amiga e companheira de apartamento, e ao meu namorado 'Henrique', por sempre me apoiarem e afirmarem o quanto sou capaz.

Aos meus orientadores, Dr. 'Adônis Moreira' e Dr. 'Francisco C. Krzyzanowski', pela paciência, incentivo e apoio ao longo de todo o processo. Seus ensinamentos foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para meu crescimento acadêmico e pessoal.

À Dra 'Larissa A. C. Moraes' da Embrapa Soja pelo auxílio e companheirismo durante as análises laboratoriais.

À Prof^a 'Gabriela Machinesk', presente na banca de qualificação, pelas sugestões e críticas construtivas, auxiliando na melhoria da versão final da minha tese.

Ao 'João Pereira', aluno de doutorado, que me auxiliou e me ajudou a rodar os dados no programa R.

Agradeço de coração a todos que, de alguma forma, contribuíram para mais uma etapa muito importante da minha formação. Sem o apoio de vocês, nada disso seria possível. Minha eterna gratidão!

Dameto, Larissa Sartori. **Efeitos de doses de boro no desempenho agrônomo e na qualidade de semente de três cultivares de soja.** 2025. 105f. Tese (Doutorado em agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2025.

RESUMO

O teor de lignina nas paredes celulares das plantas de soja e a utilização do micronutriente Boro (B) na adubação da cultura, podem proporcionar inúmeros benefícios para a qualidade das sementes, proporcionando um aumento da longevidade, mantendo o vigor, viabilidade, e minimizando os efeitos de deterioração. Com isso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar as alterações no desempenho agrônomo de três cultivares de soja com diferentes teores de lignina em resposta a aplicação de B. O experimento foi realizado em casa de vegetação da Embrapa Soja, localizada em Londrina (PR), com delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 3, sendo cinco doses de B (0, 2, 4, 8 e 16 mg kg⁻¹) e três cultivares de soja (BRS 523, BRS 1003 IPRO e BRS 774 RR), com seis repetições. Para as avaliações, foram realizados os seguintes parâmetros: comprimento de plântula, teor de lignina, produtividade e componentes de produção, estado nutricional, atributos químicos do solo e análises bioquímicas. A produção máxima de grãos apresentou interação significativa entre doses e cultivares avaliadas, sendo, a máxima produção obtida na cultivar BRS 523 com aplicação de 8 mg kg⁻¹ de B. A cultivar BRS 1003 IPRO se destacou com o maior volume radicular, alcançado na dose de 2 mg kg⁻¹ de B. A toxidez causada pela dose 16 mg kg⁻¹, reduziu o desenvolvimento da cultura, comprometendo todos os componentes de produção. A aplicação de B aumentou os teores de N, P, K, Cu, Fe, Mn e Zn na folha para todas as cultivares. A cultivar BRS 774 RR apresentou o maior comprimento de plântulas. Em relação a lignina, a BRS 523 apresentou os maiores teores no tegumento e na vagem, sendo nas doses 2,0 e 4,0 mg kg⁻¹ de B com as maiores concentrações dessa variável, independente da cultivar. Doses maiores de B influenciaram negativamente a relação S/G da cultivar BRS 523, diminuindo também a relação na vagem para a BRS 774 RR e no tegumento para a BRS 1003 IPRO. O tegumento das sementes da BRS 523 quando comparado com as demais estudadas, apresenta maior teor de Guaiacil (G) e relação S/G menor.

Palavras-chave: *Glycine max*; Qualidade das sementes; Fertilizante boratado; Lignina; Componentes de produção.

Dameto, Larissa Sartori. **Effects of boron doses on the agronomic performance and seed quality of three soybean cultivars**. 2025. 105f. Thesis (Doctorate in agronomy) - State University of Londrina, Londrina, 2025.

ABSTRACT

The lignin content in the cell walls of soybean plants and the use of the micronutrient boron (B) in the fertilization of the crop can bring numerous benefits to seed quality, providing increased longevity, maintaining vigor and viability, and minimizing the effects of deterioration. The aim of this study was to assess changes in the agronomic performance of three soybean cultivars with different lignin contents in response to boron application. It was carried out in a greenhouse at Embrapa Soja, located in Londrina (PR), with a completely randomized experimental design, in a 5 x 3 factorial scheme, with five boron doses (0, 2, 4, 8 and 16 mg kg⁻¹) and three soybean cultivars (BRS 523, BRS 1003 IPRO and BRS 774 RR), with six replications. The following tests were carried out for the evaluations: seedling length, lignin content, production components, nutritional status, soil chemical attributes and biochemical analyses. The maximum grain yield showed an effect of doses and cultivars, and was obtained in the BRS 523 cultivar with an application of 8 mg kg⁻¹ of B. The BRS 1003 IPRO cultivar stood out with the largest root volume, achieved at a dose of 2 mg kg⁻¹ of B. The toxicity caused by the 16 mg kg⁻¹ dose made it impossible for the crop to develop, compromising all the production components. The application of B increased the levels of N, P, K, Cu, Fe, Mn and Zn in the leaves of all the cultivars. The BRS 774 RR cultivar had the longest seedlings. With regard to lignin, BRS 523 stood out for its high levels in the tegument and pod, with the highest concentrations of this variable at doses of 2.0 and 4.0 mg kg⁻¹ of B, regardless of cultivar. Higher doses of B negatively influenced the S/G ratio of the BRS 523 cultivar, also reducing the ratio in the pod for BRS 774 RR and in the tegument for BRS 1003 IPRO. The seed coat of BRS 523, when compared to the others studied, has a higher Guaiacil (G) content and a lower S/G ratio.

Keywords: Glycine max; Seed quality; Borate fertilizer; Lignin; Production components.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Morfologia da planta de soja. Fonte: Neto, 2015.....	18
Figura 2 – Representação esquemática dos estádios fenológicos vegetativos e reprodutivos do ciclo da soja. Fonte: Agroadvance, 2024.....	20
Figura 3 – Estrutura básica da lignina - Fenil propano.....	27
Figura 4 – Os três principais monolignóis precursores da lignina e suas estruturas correspondentes no polímero de lignina. Fonte: Laurichesse; Avérous, 2014.....	28
Figura 5 – Remoção do tegumento das sementes de soja (a); Dessecação em estufa do tegumento (b); Centrifuga para homogeneização das amostras (c); Processo de floculação (d); Solubilização da lignina em banho maria (e); Leitura da absorbância das amostras em espectrofotômetro UV com comprimento de onda de 280nm (f).....	40
Figura 6 – Germinador com ausência de luminosidade (a); Sementes de soja germinadas após três dias (b); Scanner com plântulas de soja germinadas (c); Software Vigor-S (d).....	42
Figura 7 – Coleta de 100 mg de tecido foliar macerado (a); Adição de solução salina tamponada com fosfato de potássio à amostra coletada (b); Coleta do sobrenadante para análises (c); Freezer para armazenamento das amostras (d).....	44
Figura 8 – Sintomas de toxidez de boro nas cultivares analisadas com aplicação de 16 mg kg ⁻¹ de B. Fonte: Autora, 2024.....	62

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1** – Matriz de correlação entre as variáveis cultivar, dose, clorofila (CL), óleo (OL), proteína (PR), massa seca total (MST), peso de vagem (PV), número de vagens por vaso (NVV), número de grãos por vaso (NGV), número de grãos por vagem (NGVA), produção de grãos (PG), peso de cem sementes (PCS), volume de raiz (VR), comprimento do hipocótilo (HIP), comprimento radicular (CR), comprimento total (CT).....63
- Gráfico 2** – Relação volume radicular (VR) e massa seca total (MS) de acordo com doses de boro (0, 2, 4, 8, 16 mg kg⁻¹) aplicadas via solo nas cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO.....65
- Gráfico 3** – Correlação clorofila (mg m⁻²), óleo (%) e proteína (%) no grão das cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO em resposta a doses de B (0, 2, 4, 8, 16 mg kg⁻¹) aplicadas via solo.....67
- Gráfico 4.** Correlação hipocótilo, raiz e comprimento total das plântulas das cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO de acordo com doses de B.....87

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Peso de vagens (PV), número de vagens por vaso (NVV), número de grãos por vaso (NGV), relação NGV/NVV, peso de 100 grãos, volume de raiz (VR) e massa seca total (MST) das cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO em resposta a doses de B.....64
- Tabela 2** – Teor de clorofila, porcentagem de óleo e proteína no grão das cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO em relação a doses de B.....66
- Tabela 3** – Taxa fotossintética, condutância estomática (cond.), concentração intercelular de CO₂ (Ci), taxa transpiratória e eficiência no uso de H₂O das cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO de acordo com doses de B.....68
- Tabela 4** – Teores de peróxido, e atividade das enzimas catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD) das cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO em relação a doses de B.....69
- Tabela 5** – Teores de nutrientes na folha diagnóstico com pecíolo da soja nas cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO em relação a doses de B.....70
- Tabela 6** – Atributos químicos do solo após a colheita das cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO em relação a doses de B.....71
- Tabela 7** – Médias de germinação, comprimento total (CT), do hipocótilo (CH) e das raízes (CR) de plântulas de três cultivares de soja em resposta a doses de B.....86

SUMÁRIO

1 TESE.....	13
2 INTRODUÇÃO.....	13
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA CULTURA DA SOJA.....	15
3.2 DESCRIÇÃO BOTÂNICA E FENOLOGIA.....	17
3.3 FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS QUE INTERFEREM NO CULTIVO.....	22
3.4 QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES.....	23
3.5 IMPORTÂNCIA DOS TESTES DE VIGOR.....	25
3.6 LIGNINA.....	26
3.7 EFEITOS DO BORO NA SOJA E NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DA SEMENTE.....	30
4 OBJETIVOS.....	34
4.1 OBJETIVOS GERAIS.....	34
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	34
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
5.1 LOCAL DO EXPERIMENTO, TRATAMENTOS E DELINEAMENTO.....	35
5.2 ANÁLISES REALIZADAS.....	36
5.2.1 Análises Fisiológicas.....	36
5.2.2 Determinação do Teor de Boro e Nutrientes na Folha Diagnóstico.....	37
5.2.3 Componentes de Produção.....	37
5.2.4 Análise dos Atributos Químicos do Solo.....	38
5.2.5 Teor de Lignina.....	38
5.2.6 Extração e determinação de monômeros de lignina.....	40
5.2.7 Teste de Comprimento de Plântulas.....	41
5.2.8 Análises Bioquímicas.....	43
5.2.8.1 Proteínas solúveis totais.....	44
5.2.8.2 Catalase.....	45
5.2.8.3 Superóxido dismutase.....	45
5.2.8.4 Peroxido de Hidrogênio.....	45

5.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	46
6 RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	47
6.1 INFLUÊNCIA DE DOSES DE BORO NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DE TRÊS CULTIVARES DE SOJA.....	47
6.2 RELAÇÃO ENTRE DOSES DE BORO, TEOR DE LIGNINA E SEUS MONÔMEROS NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

1 TESE

2 INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado o maior produtor e exportador de grãos de soja, com cerca de 42% de toda soja produzida no mundo sendo brasileira. Segundo o décimo primeiro levantamento feito pela Conab (CONAB, 2024a), a área ocupada pela cultura encontra-se em 46.029,8 mil hectares, com uma produção de 147.381,8 mil t, uma média de 53,36 sacas por hectare.

Com vasta utilização no mercado, além da sua utilização para o consumo humano, a soja é utilizada como matéria prima na indústria farmacêutica, cosmética, como biocombustível, na fabricação de ração, farelo e óleo.

A utilização de sementes de alta qualidade é um fator básico para o destaque do sucesso da cultura da soja. O máximo rendimento em campo é esperado pelos produtores, sendo assim, essas sementes devem possuir alta pureza, sanidade, viabilidade e vigor, a fim de minimizar os prejuízos causados pela desuniformidade da lavoura, falhas, redução da produtividade, ressemeadura, emergência e estabelecimento.

O boro (B) e a lignina são componentes principais para a qualidade das sementes. O B é um micronutriente que tem participação em inúmeros processos fisiológicos, como transporte de açúcares, lignificação, estrutura da parede celular, metabolismo do ácido indol acético (AIA), desenvolvimento de raízes laterais, absorção de íons, contribuindo para o aumento da massa de grãos por planta, auxiliando na fixação das vagens, levando a uma alta produtividade.

A lignina, terceiro maior componente da parede celular das células das plantas, proporciona resistência mecânica, defesa de plantas lenhosas e possibilita o transporte de água no interior das plantas, é um importante indicador de qualidade física e fisiológica de sementes de soja.

Muitos estudos são realizados com o intuito de melhorar a qualidade da semente, visando também desenvolver cultivares que mantenham seu potencial de preservação durante o armazenamento. Mesmo que não seja possível evitar a deterioração das sementes durante esse processo, a velocidade e intensidade podem ser minimizadas com boas práticas de manejo associada à sementes de alta qualidade fisiológica.

Sementes de alta qualidade apresentam alto vigor, resultando em maior uniformidade no desenvolvimento das plantas no campo, emergência rápida, resistência a ataque de insetos/microrganismos e maior tolerância em condições de estresse abiótico, como época de seca, por exemplo.

Levando em consideração a influência que a lignina possui sobre a resistência das cultivares, os benefícios da utilização do B para a cultura e a importância de manter a qualidade das sementes tanto durante seu ciclo em campo quanto após a colheita, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade fisiológica de sementes de soja de acordo com a aplicação de diferentes concentrações de B em cultivares que possuem percentuais distintos de lignina na composição da sua parede celular.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA CULTURA DA SOJA

Com origem na China, a cerca de 5 mil anos, a cultura da soja foi considerada na época, sagrada por ser essencial à estabilidade da civilização chinesa (SYNGENTA, 2022). Relatos apontam sua entrada no Brasil em meados de 1882 no estado da Bahia, tendo início do seu plantio para comércio a partir de 1924 de acordo com registros no Anuário Agrícola do Rio Grande do Sul (ADAMA, 2022).

Hoje possui diversos usos na alimentação humana na forma de óleo de soja, tofu, leite de soja, proteína de soja, soja em grão; na alimentação animal como insumo para o preparo de rações balanceadas; na matéria-prima para o biodiesel e matéria-prima para diferentes indústrias cosméticas, farmacêutica, veterinária, plásticos, entre outras (SEDIYAMA *et al.*, 2015). Do total produzido, 93% são destinados para o processamento do complexo soja (soja em grão, óleo e farelo) e 7% para os outros produtos (INOUE, 2019).

A soja, é uma das principais commodities produzida no mundo, tendo destaque no Brasil por ser a principal cultura em extensão de área e volume de produção. O grão é rico em proteínas, além de ser fonte de algumas vitaminas do complexo B e vitamina C (SYNGENTA, 2022).

A partir dos anos setenta sua produção passou a ter grande relevância para o agronegócio nacional, verificada pelo aumento das áreas cultivadas e, principalmente, pelo incremento da produtividade pela utilização de novas tecnologias (SILVA; LIMA; BATISTA, 2011). É a cultura que mais requer sementes a cada safra quando comparada com trigo, milho, arroz, algodão, sorgo, girassol, aveia, amendoim, cevada, sendo relevante sua participação na cadeia produtiva de sementes no agronegócio brasileiro.

Devido aos incentivos no mercado agroindustrial e a boa condição climática, o Brasil é um grande fornecedor de alimentos para o mundo todo (JOÃO, 2021). O agronegócio no Brasil responde por aproximadamente 25% do Produto Interno Bruto (PIB) da economia brasileira e é responsável por quase metade do volume financeiro obtido com as exportações do país (Universidade de São Paulo, 2020).

Estima-se que a cadeia produtiva de soja brasileira gira em torno de 243 mil produtores de soja, e um mercado de 7,5 milhões de empregos, onde as cidades produtoras apresentam melhor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e os Estados tem uma arrecadação maior que a média nacional (FPA, 2023).

O PIB do complexo da soja expandiu 58%, o agronegócio aumentou 8% e a economia cresceu 12% (ABIOVE, 2023), desempenhando um papel social essencial no Brasil, contratando milhares de pessoas ligadas direta ou indiretamente ao cultivo da soja, colaborando para o progresso local, regional e nacional (APROSOJA BRASIL, 2023).

O Brasil importou mais de 700 mil toneladas de soja entre janeiro e julho de 2024, devendo bater recorde e ultrapassar 1 milhão de toneladas nas importações de 2024. As exportações, no mesmo período, totalizaram 75,43 milhões de toneladas, 4% superior à 2023. A China, principal destino da soja brasileira, é considerada a maior consumidora mundial do grão, com uma expectativa de compra no mercado internacional equivalente a 85,7% do consumo do país (CONAB, 2024b).

O USDA eleva a estimativa de produção de soja mundial para a safra 2024/25 no relatório de agosto em 6,87 milhões de toneladas. A produção 100% colhida é estimada em 147,38 milhões de toneladas contando com esmagamentos estimados ainda em 52,53 milhões de toneladas (CONAB, 2024b).

A produção brasileira de soja é liderada pelo estado do Mato Grosso (39,34 mi t), seguido pelo Rio Grande do Sul (20,19 mi t), Paraná (18,35 mi t) e Goiás (16,71 mi t) (CONAB, 2024a). No Paraná, a produção da safra 2024/25, estimada pelo Deral, é de 20% maior que a produção obtida na última safra, havendo um crescimento marginal de 0,5% na área, totalizando 5,8 milhões de hectares (SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO, 2024)

Grandes valores monetários são movidos graças a cultura da soja, tendo em vista o crescimento contínuo e diferenciado da produção desse cereal durante os últimos anos. Diversos fatores são responsáveis por esse crescimento, como o alto teor proteico presente nos grãos (em torno de 40%) para alimentação humana e animal, teor de óleo ao redor de 20%, para fins alimentícios e produção de bicompostíveis, ser uma commodity produzida e comercializada por produtores de diversos países, e contar com um forte investimento em tecnologias de produção (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014).

Em termos de competitividade em relação a outros países produtores,

como Argentina, Estados Unidos, China, Índia e Paraguai, no Brasil, os investimentos em inovações de pesquisa levaram à tropicalização da soja para regiões de baixas latitudes, permitindo o cultivo em praticamente todo o país, o que revolucionou a expansão da cultura para regiões de baixa latitude (FUNDAÇÃO MERIDIONAL, 2017).

Algumas melhorias no sistema de produção ainda são necessárias, o uso de sementes de alta qualidade é indispensável para o aumento do rendimento da cultura e a boa conservação da mesma durante o processo de armazenamento, retardando os efeitos da deterioração (CARDOSO *et al.*, 2012; VIDIGAL *et al.*, 2016).

Segundo Guzatti e Franco (2015), as tecnologias estudadas que mais atuam sobre o desenvolvimento da leguminosa são a adubação, o preparo do solo, a mecanização, a qualidade de sementes, calagem e a obtenção de variedades através do melhoramento genético. Associada à partição da aplicação de nutrientes, a adoção de práticas de calagem e adubação são benéficas a cultura, proporcionando aplicações em estádios fenológicos e locais adequados, o que diminui o custo de produção (SANTOS, 2013).

Para analisar o potencial fisiológico de um lote de sementes, ou seja, seu êxito em expressar funções vitais perante condições ambientais adversas, são realizadas avaliações rotineiras em laboratório seguindo instruções das Regras para Análise de Sementes, editada pelo Brasil (MAPA, 2009) e outras organizações como “International Seed Testing Association (ISTA, 2011) e “Association of Official Seed Analysts (AOSA, 2002) (KRZYZANOWSKI *et al.*, 2020).

3.2 DESCRIÇÃO BOTÂNICA E FENOLOGIA

Considerada uma planta herbácea, a soja é classificada como Magnoliopsida (Eudicotiledônea), pertencente a ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, gênero *Glycine* e espécie *Glycine max-* (L.) Merril (NUNES, 2020). É formada por raiz, haste (caule), folhas, flores e vagens, que alojam as sementes (FIGURA 1).

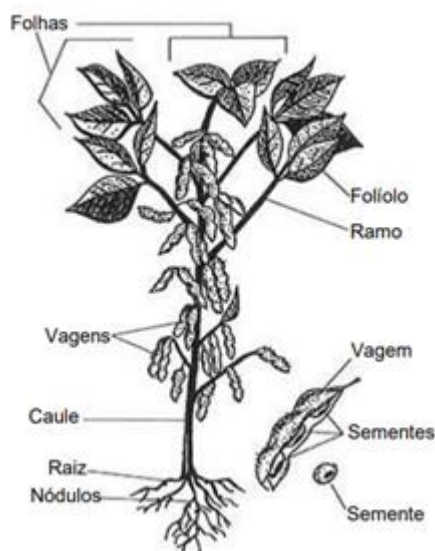


Figura 1. Morfologia da planta de soja. Fonte: Neto, 2015.

De acordo com Rodrigues (2016), o sistema radicular é formado por uma raiz axial principal, que se desenvolve de 2,5 a 5 cm por dia, dependendo da temperatura do solo (média de 22 a 27°C). A partir da raiz principal, várias raízes secundárias são formadas para auxiliar na sustentação e absorção de água e nutrientes pela planta, essas raízes aumentam seu desenvolvimento e penetração entre o período de formação de vagens, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

Além das funções principais que uma raiz exerce na planta, nessa espécie em específico, há presença de simbiose com bactérias do gênero *Bradirhizobium*, onde estas promovem a fixação de nitrogênio do ar (N_2) e o disponibiliza para a planta na forma de amônio (NH_3) através de nódulos radiculares, recebendo em troca hidratos de carbono (MASCARENHAS; TANAKA; WUTKE; KIKUTI, 2005)

Logo após a germinação, a partir do eixo embrionário, há o desenvolvimento da haste, caracterizada como herbácea ereto, pubescente (coberta por pequenos pelos curtos e macios) e ramificada (RODRIGUES, 2016). Seu hábito de crescimento varia de acordo com as características do ápice principal do caule e da cultivar, podendo ser determinado, indeterminado ou semideterminado (MULLER, 1981).

Cultivares com hábito de crescimento determinado são caracterizadas por apresentarem inflorescências racemosas, tanto terminais quanto axilares. Após o florescimento, o crescimento vegetativo é interrompido, embora em algumas situações

as plantas possam crescer até 10% da altura final. Assim, ao entrar na fase reprodutiva, a planta já alcançou cerca de 90% de sua altura e da produção de matéria seca final. Essas cultivares costumam ter maior ramificação e menor altura, resultando em um número reduzido de nós. As folhas na parte superior do caule se assemelham às demais, com as primeiras flores aparecendo no terço superior e as últimas no terço inferior. O processo de maturação ocorre de cima para baixo (SEDIYAMA et al., 1996; SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005).

As cultivares com hábito de crescimento indeterminado apresentam apenas inflorescências axilares. A gema terminal continua ativa após o florescimento, permitindo o desenvolvimento de nós e o alongamento do caule (MÜLLER, 1981). Como resultado, essas plantas apresentam maior altura e um maior número de nós na haste principal, podendo até dobrar de altura após o florescimento (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005). A parte terminal do caule é mais delgada, e as folhas, assim como os pecíolos, são maiores na região central do caule. A maturação das vagens começa na parte inferior.

Os genes Dt_1/dt_1 , que regulam o hábito de crescimento na soja, foram identificados pela primeira vez por Woodworth (1933) em uma população segregante F_2 resultante do cruzamento entre uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado (Manchu), originária do norte da China, e uma cultivar de hábito de crescimento determinado (Ebony), da Coreia. Segundo Bernard (1972), o genótipo dt_1dt_1 está associado ao hábito de crescimento determinado, enquanto o genótipo Dt_1Dt_1 corresponde ao hábito de crescimento indeterminado. Já o genótipo Dt_1dt_1 refere-se ao hábito semideterminado.

Já em relação as folhas, observa-se ao longo do crescimento da planta, três tipos diferentes: cotiledonares, unifolioladas e as trifolioladas. As cotiledonares são as primeiras a se desenvolverem, possuindo a forma oval elíptica. As unifolioladas, ou simples, possuem um único folíolo postas opostamente no primeiro nó (acima do nó cotiledonar). E por fim, as trifolioladas, ou compostas, com três folíolos: um terminal e dois laterais dispostos alternadamente de forma dística (RODRIGUES, 2016; SEDIYAMA et al., 1985).

As flores da cultura podem se apresentar na cor púrpura ou branca, e são denominadas completas por possuírem cálice, corola, androceu e gineceu (RODRIGUES, 2016). A inflorescência da soja é um racemo que contém entre 5 e 35 flores, onde uma única planta pode ter até 800 flores, mas cada flor permanece aberta

apenas por um dia. No máximo, 13 flores podem se abrir simultaneamente em uma inflorescência (DELAPLANE e MAYER, 2000).

É uma espécie autógama (realiza cruzamento por autofecundação), com baixos índices de polinização cruzada (taxa de fecundação cruzada menor que 1%) (GAZZONI, 2017). Os órgãos femininos e masculinos se encontram dentro da corola, e a liberação do pólen e a receptividade do estigma, em algumas variedades, ocorrem antes da abertura da flor, caracterizando um processo chamado cleistogamia (MULLER, 1981).

Por volta de 10 a 15 dias após o florescimento, inicia-se a formação das vagens. De acordo com Muller (1981), esse legume se apresenta na forma achatada e reta (pouco curvado) na coloração cinza, amarelo-palha ou preta, dependendo do estágio de desenvolvimento da planta. Pode chegar a 7 cm de comprimento e comportar até 5 sementes, mas em geral, as cultivares apresentam de 2 a 3 sementes por vagem (RODRIGUES, 2016).

Apresenta dois estágios de desenvolvimento, descritos por Fehr & Caviness (1977), muito utilizado até hoje: estágio vegetativo (identificado pela letra V) e o reprodutivo (identificado pela letra R) (FIGURA 2).

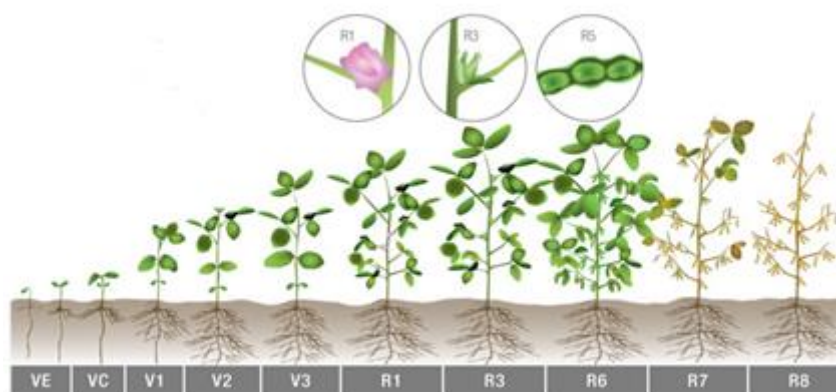


Figura 2. Representação esquemática dos estádios fenológicos vegetativos e reprodutivos do ciclo da soja. Fonte: Agroadvance, 2024.

O período entre a emergência da plântula até a abertura das primeiras flores, é designado como estádios vegetativos. Esse se inicia na emergência (VE), onde os cotilédones já se encontram acima da superfície do solo, é seguido pela abertura completa dos cotilédones (VC), folhas unifolioladas completamente desenvolvidas (V1) e o desenvolvimento completo de todas as folhas trifoliadas (V2,

V3, V4, V5,...,Vn) (NEUMAIR; NEPOMUCENO; FARIAS; OYA, 2000).

O estágio reprodutivo, período do início da floração até o fim do ciclo da cultura, abrange quatro fases: florescimento (R1 e R2), desenvolvimento da vagem (R3 e R4), desenvolvimento do grão (R5 e R6) e maturação da planta (R7 e R8). Portanto, o estágio reprodutivo é marcado pela abertura da primeira flor em qualquer nó da haste principal (R1) e se encerra com 95% das vagens com coloração de madura, obtendo a maturação plena (R8) (NEUMAIR, *et al.*, 2000).

Os estádios de desenvolvimento de vagens e grãos são cruciais para manter os altos índices dos componentes de produção da cultura, sendo que, estresses drásticos ocorridos nesse período, podem levar a danos irreversíveis, afetando o número de vagens por planta e o rendimento de grãos. Os primeiros sinais de aparecimento das vagens são notados no estágio R3, com legumes medindo 5 mm de comprimento. A partir daí, no estágio R4, o crescimento das vagens fica mais acentuado, dando início ao desenvolvimento dos grãos (NEUMAIER, 2000)

No estágio R5, vemos a presença de uma vagem com pelo menos um grão de 3 mm de comprimento. Nesse período é muito importante a presença de água no sistema, pois a FBN (fixação biológica de nitrogênio) atinge sua máxima, e ocorre a redistribuição de nutrientes e acúmulo de massa seca (MS) nos grãos, que continuam seu desenvolvimento no estágio R6. Os grãos se tornam viáveis como semente quando se encontram com aproximadamente 60% de umidade, onde não há mais acúmulo de MS, e as vagens não estão mais verdes, atingindo a maturação fisiológica da planta de soja (estádio R7) (NEUMAIER, 2000).

As sementes são lisas, na forma oval, globosa ou elíptica, e são encontradas na coloração amarelada, preta ou verde. O hilo é destacado por sua cor mais escura, e é essencial para identificação da cultivar (SACHETO, 2023).

Em relação a colheita, o ideal é que o grão se encontre com uma umidade de 13% para minimizar as perdas no processo e durante o armazenamento. Para chegar a essa porcentagem, é necessário de 5 a 10 dias de clima seco após o estágio R8, sendo necessário entrar com métodos de secagem caso não seja possível aguardar essa condição. Da mesma forma que a alta umidade pode trazer prejuízos, umidades abaixo de 13% (caso ocorra atraso na colheita) aumentam as chances de perdas por grãos danificados por danos mecânicos, diminuindo o peso para a comercialização (NPCT, 2019).

3.3 FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS QUE INTERFEREM NO CULTIVO

Para que a cultura finalize seu ciclo e atinja a produção desejada, deve-se ficar atento a exigências climáticas que afetam o desenvolvimento e produtividade da soja. De acordo Farias et al. (2007) e Sacheto (2023), a temperatura, o fotoperíodo e a disponibilidade hídrica são os principais elementos climáticos que afetam a cultura em questão.

Após a semeadura, tanto o excesso quanto a falta de água podem comprometer o estabelecimento do estande de plantas. Nesta fase, a semente de soja deve absorver 50% do seu peso em água para que a germinação aconteça. No entanto, se a quantidade de água no solo for excessiva, pode haver falta de oxigênio, o que também prejudica a germinação (EMBRAPA, 2009b).

Déficits hídricos significativos durante o florescimento ou o enchimento de grãos levam ao fechamento estomático e ao enrolamento das folhas, o que diminui a taxa fotossintética e a produção de biomassa, causando grandes perdas na produtividade (RITCHIE et al., 1994).

A incidência de luz é um fator de extrema importância, uma vez que a fotossíntese permite que a planta converta a energia solar em matéria orgânica. Sombras ou alta nebulosidade podem diminuir o rendimento dos grãos, portanto, para garantir uma lavoura produtiva, é essencial adotar práticas agrônômicas que criem um ambiente livre de restrições ao desenvolvimento das plantas (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001).

O fotoperíodo (número de horas de luz ocorrido durante o dia) influencia diretamente o desenvolvimento da cultura, sendo uma característica que varia conforme a cultivar, onde cada uma delas irá possuir o seu fotoperíodo crítico (ROCHA, 2009).

A soja é classificada como uma planta de dias curtos, ou seja, é induzida ao florescimento quando a duração do dia é menor do que o seu fotoperíodo crítico (período noturno maior ou igual ao diurno), permanecendo em estágio vegetativo caso essas horas de luz sejam excedidas. Esse fator é crucial para determinar a adaptabilidade dos cultivares às diversas regiões de produção e para estabelecer a duração do período vegetativo, que está fortemente relacionada à produtividade de grãos (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

Regiões com temperaturas que variam entre 20 e 30°C, são ideais

para o seu cultivo. Locais mais frios ($\leq 10^{\circ}\text{C}$) ou mais quentes ($> 40^{\circ}\text{C}$), impossibilitam o crescimento vegetativo, provocam danos na floração e reduzem a capacidade de retenção de vagens, respectivamente. Temperaturas abaixo de 13°C inibem o florescimento (RODRIGUES et al., 2001)

Segundo Mundstock e Thomas (2005) o número de vagens por planta é o componente de rendimento de grãos mais afetado pelo ambiente de produção, já que a quantidade de vagens depende do número de flores produzidas pelas plantas no início do período reprodutivo (florescimento).

O enchimento dos grãos começa no estágio R5 e é considerado o momento em que a planta está mais suscetível a estresses ambientais. Durante essa fase, estresses como déficit hídrico, alagamento, deficiência nutricional, baixa luminosidade, geada e desfolha podem reduzir a produtividade de maneira mais significativa do que em outros estádios do desenvolvimento da soja (RITCHIE et al., 1994).

É fundamental ajustar o ambiente e os cuidados culturais para alcançar altas produtividades, especialmente quando se trabalha com genótipos de alto potencial de rendimento adaptados à região de cultivo (GUBIANI, 2005).

A utilização de genótipos adaptados à região, escolha do momento da semeadura, manejo das populações de plantas, nutrição vegetal e fertilidade do solo, controle de pragas, doenças e plantas daninhas, além da redução de perdas na colheita, são práticas culturais que podem ser adotadas para aumentar a produtividade da soja (RITCHIE et al., 1994).

3.4 QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES

A qualidade fisiológica das sementes é definida como “a capacidade de desempenhar funções vitais, caracterizada pela germinação, vigor e longevidade, que afeta diretamente a implantação da cultura em condições de campo” (POPINIGIS apud SCHUCH; KOLCHINSKI E FINATTO, 2009). Com uma elevada qualidade, as sementes dispõem de uma alta germinação e vigor, além de alta pureza genética e física. Essas características determinam o potencial das sementes durante sua implantação, e seu posterior desenvolvimento (HENNING *et al.*, 2018).

O vigor é o principal parâmetro utilizado para avaliar a qualidade fisiológica das sementes, estando relacionado com vários critérios como, o

desenvolvimento de plântulas normais e sua boa introdução na lavoura, emergência rápida, uniforme e ampla adaptabilidade a ambientes favoráveis ou não. Trata-se de uma soma de atributos que determinam o potencial de atividade e desempenho da semente durante a germinação e emergência após a semeadura (MARCOS FILHO, 2015). É uma das principais características de sementes de alta qualidade, sendo um aspecto primordial para a implantação da cultura (PANOZZO et al., 2009).

De acordo com Henning et al. (2010), o vigor de uma semente envolve a biossíntese energética de compostos metabólicos como proteínas, lipídios, carboidratos e ácidos nucleicos da mesma, associados ao transporte e utilização de reservas e integridade das membranas celulares. O alto vigor faz com que, mesmo em determinadas situações, a semente não perca consideravelmente seu desempenho fisiológico quando comparadas com sementes de baixo ou médio vigor.

Os estresses que afetam a germinação e o progresso da planta em campo, podem estar relacionados tanto com o clima, quanto com o mau manejo do local e da semeadura, como solo compactado, profundidade excessiva, presença de patógenos que podem atacar a semente, chuva ou seca intensa após o plantio (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018b).

Como a soja é considerada hidrocópica (têm o seu grau de umidade condicionado pelas condições de umidade do ambiente), a exposição a alta umidade causa sucessivas expansões e contrações do volume da semente, levando a formação de enrugamento no tegumento, principalmente nas regiões oposta ao hilo (HUTH, 2015). Esse processo faz com que ocorra uma ruptura do tegumento e dos tecidos embrionários, comprometendo o desempenho das membranas aos níveis celular e subcelular (FRANÇA-NETO *et al.*, 2000). De acordo com França Neto et al. (2018c) a ocorrência de veranicos associados com altas temperaturas durante a fase de enchimento de grãos, resulta em sementes com elevados índices de enrugamento e uma menor qualidade fisiológica.

Segundo França-Neto et al. (2000; 2016) algumas cultivares de soja possuem características capazes de amenizar a absorção de água, o que ajudaria a reduzir os danos causados por intempéries climáticas na fase de pré-colheita. A semipermeabilidade das paredes das sementes e o seu conteúdo de lignina, são caracteres que proporcionam uma proteção extra contra a deterioração no campo (FRANÇA-NETO *et al.*, 1994).

Henning (2005) e Moreano (2011) relatam que a ocorrência de alguns

fungos de campo, como *Phomopsis spp.*, *Fusarium spp.*, *Cercospora kikuchii* e *Colletotrichum truncatu*, também intensifica o processo de deterioração das sementes, causando perdas na germinação e vigor. Os percevejos também são uma grande preocupação para a cultura, já que esses insetos se alimentam diretamente da vagem atingindo os grãos (FRANÇA-NETO *et al.*, 2016). De acordo com a Embrapa (2009a) os períodos mais críticos para a infestação são nos estádios R3 e R6, devendo ser monitorado e controlado imediatamente para que os danos não se tornem irreversíveis.

Em relação aos danos mecânicos, que na sua maioria ocorrem durante operações de colheita e beneficiamento, nota-se o surgimento tanto de rachaduras, trincas e aberturas, quando a semente está abaixo de 12% umidade, como de danos latentes, onde ocorre o amassamento dessas sementes devido ao alto teor de umidade (acima de 14%) (FRANÇA-NETO *et al.*, 2018).

A fim de amenizar a perda da qualidade fisiológica das sementes, os produtores buscam cultivares que tolerem os problemas causados pelas adversidades climáticas e ataque de pragas (EMBRAPA, 2021). Com a grande demanda por sementes de alta qualidade, aumentou-se a preocupação com o seu real potencial fisiológico, o que despertou a criação de testes de vigor.

Estes testes avaliam, de uma forma mais significativa que o teste de germinação, as bases bioquímicas e fisiológicas do potencial de desempenho de um lote de sementes, de forma direta ou indireta (MARCOS FILHO, 2015). Os primeiros testes com a cultura da soja no Brasil foram realizados no estado da Bahia, com algumas cultivares, datando em 1882 a primeira referência na literatura (D'UTRA, 1882).

3.5 IMPORTÂNCIA DOS TESTES DE VIGOR

A qualidade das sementes é um quesito muito importante que deve ser conhecido pelo agricultor devido ao aumento das exigências do mercado consumidor por produtos de alta qualidade. Sementes de alta qualidade minimizam os prejuízos que podem ser causados pela utilização de sementes de baixa qualidade como desuniformidade da lavoura, falhas, redução da produtividade, ressemeadura, emergência e estabelecimento (BAUMGRATZ; SILVA, 2019).

Antes de serem levadas a campo, as sementes passam por um

controle de qualidade realizado em laboratórios de análises de sementes. Testes de germinação, vigor, desempenho de plântulas e testes rápidos, são realizados para avaliar seu desempenho fisiológico gerando uma certificação que atesta sua pureza e alto vigor (PITTELKOW; PASQUALLI, 2014).

A alta qualidade das sementes pode proporcionar seu melhor desempenho em campo, possibilitando vantagens no aproveitamento de nutrientes, água e luminosidade (HENNING *et al.*, 2018). Em grandes culturas, vários testes são colocados em prática, como o de tetrazólio, envelhecimento acelerado e protrusão de raiz primária, juntamente com a avaliação computadorizada de imagens de plântulas. (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018b).

Silva e Gomes Júnior (2014) relataram um software para a avaliação automatizada do vigor de sementes de soja, conhecido hoje como “Vigor-S”. O sistema foi desenvolvido pela Embrapa Instrumentação, localizada em São Carlos, SP, juntamente com a Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (USP/ESALQ) em Piracicaba, SP. O software determina com precisão, de forma rápida e eficaz, o índice de vigor e o comprimento de plântulas de soja.

Por se tratar de imagens computadorizadas, os resultados são totalmente confiáveis, diminuindo o risco de erros que poderiam ser cometidos por humanos na hora de medir a plântula em questão, possibilitando possíveis comparações de resultados já que o programa permite que as análises e imagens sejam salvas no computador (GOMES JUNIOR; CHAMMA, 2008).

Executar técnicas adequadas de pré e pós-colheita é um ponto fundamental para manter a qualidade das sementes, sendo primordial selecionar genótipos adequados em programas de melhoramento antes da produção e comercialização das mesmas, alcançando assim o sucesso desejado (FRANÇA-NETO E KRZYZANOWSKI, 2019; BRZEZINSKI *et al.*, 2022).

3.6 LIGNINA

Descoberta por Anselme Payen em 1833, a lignina é um dos principais compostos fenólicos presente nos tecidos de angiospermas e gimnospermas, sendo o segundo polímero mais abundante na natureza, depois da celulose (MCCARTHY e ISLAM, 1999; POLLE *et al.*, 1994). É uma palavra vinda do latim *lignum*, que significa madeira (ligno= lenho).

A lignina desempenha um papel crucial no transporte de água, metabólitos e nutrientes, como componente dos vasos do xilema, conferindo resistência mecânica aos vegetais e proteção aos tecidos contra os ataques de microrganismos. Vegetais primitivos, como fungos, algas e líquens, não possuem lignina (FENGEL & WEGENER, 1984).

É uma fonte de compostos aromáticos, sendo composta quimicamente de um sistema aromático de fenilpropano (RAGAUSKAS *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2017; TARGUETA, 2019). Os átomos de carbono da cadeia de propano são designados pelas letras gregas: alfa (α), beta (β) e gama (γ). O carbono α é ligado ao grupo fenil, e os demais seguem o anel aromático (FIGURA 3) (WASROWSKI, 2019).

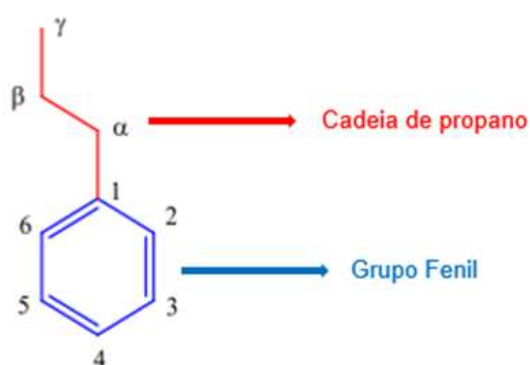


Figura 3. Estrutura básica da lignina - Fenil propano

É considerada um heteropolímero complexo que consiste principalmente de unidades p-hidroxifenil (H), guaiacil (G) e siringil (S) formadas pela polimerização enzimática desidrogenativa de três álcoois aromáticos (monolignóis): álcool sinapílico, álcool coniferílico e álcool p-coumarílico, que são produtos da via fenilpropanoide (FIGURA 4) (VANHOLME; DEMEDTS e BOERJAN, 2010; MOREIRA-VILAR *et al.*, 2014; MARCHIOSI *et al.*, 2020; LAURICHESSE e AVÉROUS, 2014).

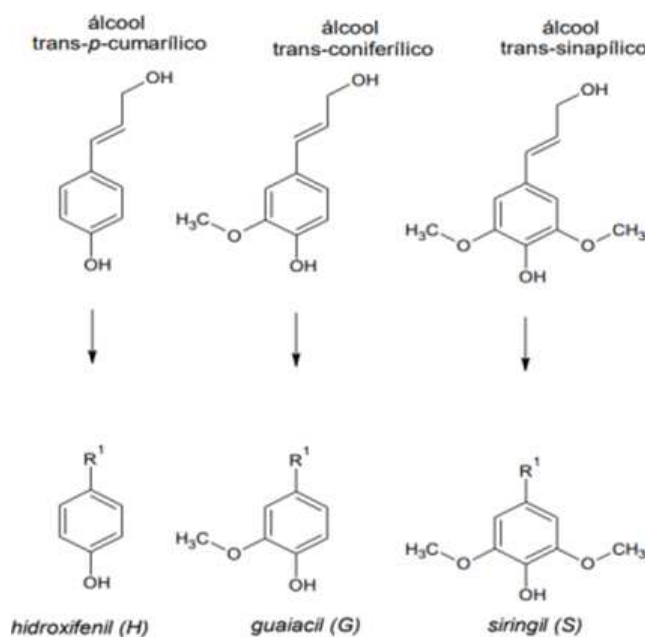


Figura 4. Os três principais monolignóis precursors da lignina e suas estruturas correspondentes no polímero de lignina. Fonte: Laurichesse; Avérous, 2014.

Durante sua biossíntese, um único polímero é formado pela junção desses três grupos de monômeros (H + G + S), sendo que sua estrutura varia de acordo com o tipo e espécie vegetal. As ligninas oriundas das angiospermas, como por exemplo, a soja, são formadas por unidades G e S, com vestígios de unidades H (AZADI *et al.*, 2013). A lignina também varia em sua composição e quantidade entre diferentes tipos de células e entre tecidos dentro da mesma planta (WHETTEN *et al.*, 1998).

Sua composição elementar consiste em carbono (61-65%), hidrogênio (5- 6%) e oxigênio (29-34%), mudando em percentual de acordo com a fonte vegetal, idade, nutrientes e espécie (THAKUR *et al.*, 2014; WASTOWSKI, 2018). Quando o processo de lignificação é finalizado, acontece a morte celular, por isso a lignina é considerada o produto final do metabolismo vegetal (KLOCK *et al.*, 2005).

A lignina encontra-se nas paredes celulares secundárias, como seu terceiro maior componente (COWLING e KIRK, 1976), estando presente no tecido do caule, nos elementos traqueais do xilema, nas células esclerais cheias de fibras, no tecido vascular, nas células endodérmicas, nas células ectodérmicas e nas células do tegumento da semente. Apresenta natureza hidrofóbica, e tem importante papel no transporte de água e resistência mecânica de vegetais, atuando diretamente na permeabilidade e proteção dos tecidos contra oscilações ambientais e possíveis

alterações na velocidade de absorção de água (ZHAO; DIXON, 2011).

Fornece uma maior rigidez, resistência e impermeabilidade para tecidos lignificados, já que promove o revestimento para microfibrilas de celulose e hemicelulose (KRZYZANOWSKI; FRANÇA-NETO; HENNING, 2023) e serve como escudo para ataques microbianos, justamente por proteger os polissacarídeos da parede celular, conferindo assim resistência à decomposição (VANHOLME *et al.*, 2010).

Segundo Krzyzanowski *et al.* (2023) o teor de lignina é fator muito importante para a qualidade das sementes de soja. Seu tegumento executa o papel de proteção contra pragas, danos mecânicos e condições climáticas adversas, sendo que avarias causadas nessa estrutura resulta em perdas significativas durante a produção de sementes (FRANÇA-NETO *et al.*, 2016).

De acordo com Castro (2015), a cultivar com maior teor de lignina, AS 7307 RR (0,4033g%), apresentou ao longo do estudo, em geral, melhor qualidade fisiológica. França-Neto *et al.* (1999) observaram maior conteúdo percentual de lignina nos tegumentos de linhagens com sementes de coloração escura (12,18%), ao passo que as linhagens de tegumento amarelo apresentaram 4,75%, conferindo uma maior qualidade nas sementes com maior conteúdo de lignina.

Propriedades da vagem da soja também contribuem para uma melhor qualidade da semente, como paredes semipermeáveis e lignina na sua composição (FRANÇA-NETO *et al.*, 1994). Suas características diferem entre os genótipos, sendo que cultivares com estrutura celular do mesocarpo (camada de células clorenquimáticas ricas em cloroplasto) mais espessado e paredes celulares com mais fibras lignificadas são mais resistentes a ruptura do legume de soja (ZHANG *et al.*, 2018).

Krzyzanowski *et al.* (2023) notaram que vagens de soja com maior espessura de exocarpo, endocarpo e mesocarpo e alto teor de lignina apresentam maior tolerância a danos por intemperismo pré-colheita e fornecem sementes com maior viabilidade e vigor. O alto teor de lignina proporcionou uma menor taxa e velocidade de absorção de água pelo tegumento.

O teor de lignina é uma característica determinada geneticamente. No entanto, algumas condições podem favorecer a sua síntese e deposição nas paredes celulares, como a presença do micronutriente boro que tem sido associado aos processos de lignificação nos tecidos vegetais.

3.7 EFEITOS DO BORO NA SOJA E NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DA SEMENTE

O B é um micronutriente essencial ao crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo exigido em pequenas quantidades, assim como o cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn) (MALAVOLTA, 2006). Como pode ser facilmente lixiviado, sua concentração em solos argilosos é maior do que nos arenosos e a presença de matéria orgânica está diretamente relacionado a maior ocorrência desse nutriente (VANIN, 2014).

Segundo Tanaka e Fujiwara (2008), o B é disponibilizado no solo como ácido bórico (H_3BO_3). De modo geral, o B disponível encontra-se ligado a matéria orgânica nas camadas superficiais e bem drenadas do solo, onde condições de seca dificultam sua absorção pelas plantas e condições de excesso de calagem podem levar a redução na sua disponibilidade (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Após a mineralização da matéria orgânica pelos microrganismos do solo, ocorre a liberação e B para as culturas, sendo esse processo dificultado em solos arenosos, devido ao baixo teor de matéria orgânica (SILVA; HIGA; VICTORIA; BASTOS; LEITE; FREIRE, 2021). A presença de água também é um fator importante para a disponibilidade de B no solo, uma vez que a umidade é importante para o transporte do nutriente até as raízes (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000; BARRETTO et al. 2007; MATTIELLO, 2009).

Solos mais argilosos e que não estão adequadamente corrigidos, podem influenciar negativamente na mobilidade do B, impossibilitando seu acesso pelas plantas. Nesses solos, o poder de retenção do B é alto, fazendo com que o micronutriente se ligue às partículas específicas, como os argilominerais, os hidróxidos de alumínio e ferro (SOUSA, 2022).

Enfatizando o seu efeito nos aspectos fisiológicos e nas funções biológicas das plantas, temos a participação do B no transporte de açúcares, síntese da parede celular, lignificação, estrutura da parede celular, metabolismo dos carboidratos, respiração, fotossíntese, conteúdo de clorofila, metabolismo do ácido indol acético (AIA), metabolismo de compostos fenólicos, desenvolvimento de raízes laterais, absorção de íons (BROWN; SHELP, 1997; BROWN *et al.*, 2002; MARSCHNER, 2012; GRATTAN *et al.*, 2015; SHIREEN *et al.*, 2018).

Também existem indícios de que, embora não sendo uma ação direta, o B é importante para a fixação biológica do nitrogênio (FBN), já que ativa a enzima

encarregada por sintetizar amido (substância de reserva das sementes, raízes, tubérculos e colmos) (FAVARIN e MARINI, 2000).

São conhecidos, até hoje, três mecanismos de absorção e transporte de B pelas plantas: difusão passiva através da membrana plasmática; transporte facilitado através de proteínas de canal, como as proteínas intrínsecas do tipo nodulina 26 (NIPs) com atuação no influxo do B da solução do solo ou apoplasto para o interior da célula; e transporte ativo de alta afinidade realizado por transportadores de ácido bórico e borato (BOR) ativados sobre baixa disponibilidade de B e com ação de efluxo de B do citosol para o apoplasto e carregamento do xilema (SHIREEN *et al.*, 2018).

Segundo Malavolta (2006), o B manifesta efeito quadrático em função do pH do solo, apresentando baixa disponibilidade em reação ácida (falta de mineralização da matéria orgânica) e queda na disponibilidade em pH próximo a neutralidade (intensifica a lixiviação pelo aumento na relação Ca/B e aumento da CTC do solo). Dependendo da cultivar e das condições ambientais, a deficiência é verificada quando o teor foliar é inferior a 25 a 30 mg kg⁻¹ e a toxidez manifesta-se para teor acima de 83 mg kg⁻¹ (FURLANI *et al.*, 2001).

O teor de B, na planta, considerado apropriado para o desenvolvimento das culturas tem alta variação, devido estar diretamente ligado com a composição química das paredes celulares que é diferente entre as abundantes espécies (MARSCHNER, 2012). Malavolta *et al.* (1997) sugerem ser adequado teores de B nas folhas entre 21 e 55 mg kg⁻¹ para a cultura da soja, podendo ser encontrado valores de 5 a 100 mg kg⁻¹ de acordo com cada cultura.

Sob condições de insuficiência de B ocorrem alterações na estrutura do carbono orgânico das paredes celulares, não apenas nas ligações entre esses compostos, mas também na quantidade, com aumento no conteúdo de aminoácidos, celulose, fenóis e lignina, promovendo o inchaço e o enfraquecimento da integridade estrutural da parede celular, considerado uma das principais razões da interrupção do crescimento e alargamento de ápices meristemáticos como observado em raízes de citros (WU *et al.*, 2017). Esta parece ser a função primária do B e a maioria dos outros sintomas de deficiência são, provavelmente, efeitos indiretos do rompimento do sistema de membrana plasmática e parede celular (HULL, 2002).

A carência de B também afeta significativamente os processos de germinação do pólen e crescimento do tubo polínico, já que altas concentrações desse

micronutriente no estigma e no estilete estimulam esse crescimento devido a inativação fisiológica de calose por meio da formação de complexos borato-calose na interface tubo polínico/estilete (LEWIS, 1980).

Na soja, os primeiros efeitos visuais da deficiência podem ser observados em folhas jovens e tecidos meristemáticos, enquanto os sintomas de toxicidade são visíveis principalmente em folhas mais velhas, especialmente nas pontas das folhas onde o fluxo de transpiração termina (POSS *et al.*, 1999). Já nas espécies com mobilidade no floema, como *Prunus*, *Malus* e *Pyrus* (HU *et al.*, 1997), os sintomas de deficiência se manifestam inicialmente nas folhas mais velhas e a toxicidade nos drenos em desenvolvimento como frutos, gemas e câmbio vascular (BROWN; HU, 1996).

Os sintomas de toxicidade são semelhantes aos de deficiência, prevalecendo manchas necróticas nas folhas, redução da concentração de clorofila, da fixação de CO₂, área foliar e crescimento da planta como um todo incluindo o sistema radicular (NABLE, 1988; BRDAR-JOKANOVI'Ć, 2020). O excesso de B acarreta folhas manchadas de verde e amarelo e, em casos graves, ocorre queima das bordas foliares. Os sintomas de toxidez são observados quando o nível nas folhas diagnóstico é superior à 100 mg kg⁻¹ (FAGERIA *et al.*, 1997).

De acordo com Santos (2016), a utilização de micronutrientes que são imóveis ou apresentam baixa mobilidade na planta, como por exemplo o B, pode ser a causa do crescimento da massa de grãos e da maior fixação das vagens, aumentando a qualidade das sementes de soja. Sua adubação deve ser feita de forma minuciosa, já que para essa cultura a faixa entre deficiência e toxidez desse nutriente é diminuta quando comparada aos demais (QUAGGIO; PIZA JR., 2001).

Rosolem (2007) e Boaretto (1989) afirmam que na soja, os estádios de R1 a R5 são os que mais exigem nutrientes. A aplicação de B e Ca no estágio reprodutivo R3, ocasionou um aumento na produtividade de sementes (SOUZA *et al.*, 2008) e a aplicação nas fases de floração e pós-floração aumentaram o rendimento e a qualidade das sementes de soja (BEVILAQUA *et al.*, 2002). Rerkasem *et al.*, (1997) observaram que em solos deficientes em B, a produtividade teve uma queda de 30 a 60%, quando comparada ao tratamento com adubação com o nutriente.

Com a expressiva importância econômica da soja, havendo uma alta demanda por essa matéria prima, a necessidade de aumento na produtividade através de investimento em tecnologias, como uma nutrição adequada, é iminente, já que

contamos com a dificuldade de expansão das áreas agrícolas (MALAVOLTA *et al.*, 2006).

4 OBJETIVO

4.1 Objetivos gerais

3.1.1 Avaliar as alterações fitotécnicas no desenvolvimento das plantas das três cultivares com aplicação de diferentes doses de B;

3.1.2 Aumentar a produtividade e qualidade das sementes de soja das cultivares com aplicação de B.

4.2 Objetivos específicos

4.2.1 Monitorar o desenvolvimento vegetativo por meio de variáveis morfológicas: matéria seca da parte aérea, número de vagens, número de grãos, peso de 100 sementes, volume de raiz;

4.2.2 Analisar a qualidade tecnológica das sementes de soja por meio da análise da semente (grau de umidade das sementes, teste de germinação e comprimento de plântula), teor de lignina e determinação dos seus monômeros

4.3.3 Avaliar a produtividade da cultura da soja em função aos tratamentos testados.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCAL DO EXPERIMENTO, TRATAMENTOS E DELINEAMENTO

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação, na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Soja, em Londrina, estado do Paraná, na latitude 23°11'37" S, longitude 51°11'03" O e altitude de 630 metros. O clima em Londrina é descrito, segundo a classificação climática de Köppen como Cfa (clima subtropical úmido), com verões quentes e geadas pouco frequentes (WREGE *et al.*, 2011; ALVARES *et al.*, 2014; NITSCHKE *et al.*, 2019).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 3, sendo cinco doses de B (0, 2, 4, 8 e 16 mg kg⁻¹), e três cultivares de soja (BRS 523, BRS 774RR, BRS 1003 IPRO), com seis repetições. As cultivares foram selecionadas levando em consideração o percentual de lignina presente no tegumento da semente da soja, seguindo a seguinte ordem, do mais alto para o mais baixo: BRS 523, BRS 1003 IPRO e BRS 774 RR.

A soja foi cultivada em vasos de 5 L de capacidade e o solo utilizado foi o Latossolo Vermelho Distrófico coletado em área de mata nativa no município de Ponta Grossa, Estado do Paraná com os seguintes atributos químicos: pH (CaCl₂) = 4,2, MOS = 38,1 g kg⁻¹, P = 7,1 mg kg⁻¹ (Mehlich 1), K⁺ = 0,3 cmolc kg⁻¹, Ca²⁺ = 2,8 cmolc kg⁻¹, Mg²⁺ = 1,2 cmolc kg⁻¹, Al³⁺ = 0,9 cmolc kg⁻¹, H+Al = 8,3 cmolc kg⁻¹, CTC = 12,7 cmolc kg⁻¹, S-SO₄²⁻ = 4,0 mg kg⁻¹, B = 0,3 mg kg⁻¹, Cu = 1,4 mg kg⁻¹, Fe = 221,6 mg kg⁻¹, Mn = 29,2 mg kg⁻¹, Zn = 1,1 mg kg⁻¹, areia = 38 g kg⁻¹ e argila = 510 g kg⁻¹ (EMBRAPA, 1997).

Trinta dias antes do plantio foi aplicado o equivalente a 5,0 mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (MgO > 12%, PRNT 95%). Exceto N, que foi suprido pela inoculação das sementes com um coquetel de *Bradyrhizobium elkanii* + *B. japonicum* e as doses de B dentro de cada experimento, as adubações com fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cobalto (Co), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn) foram feitas de acordo com Moreira *et al.* (2011) adaptadas de Allen *et al.* (1976) para experimentos conduzidos em condições de casa de vegetação [150 mg kg⁻¹ de P-fosfato monoamônio (MAP), 1,5 mg kg⁻¹ de Cu (CuSO₄·7H₂O), 0,1 mg kg⁻¹ de molibdênio - Mo (Na₂Mo₄·2H₂O), 2,5 mg kg⁻¹ de Fe (FeSO₄·2H₂O), 0,01 mg kg⁻¹ de cobalto - Co (CoCl₂), 0,01 mg kg⁻¹ de níquel - Ni (NiSO₄·6H₂O), 5,0 mg kg⁻¹

¹ de Mn ($\text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) e $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)]. Nos estádios V2 e V4 foram feitas as adubações de cobertura parceladas duas vezes com 50 mg kg^{-1} de K (K_2SO_4), totalizando 100 mg kg^{-1} no ciclo.

Os vasos foram irrigados diariamente para manter o solo próximo de 70% do volume total de poros (VTP) e semeadas dez sementes das determinadas cultivares em cada vaso, e após o desbaste foram deixadas quatro plantas uniformes por vaso de barro de cinco litros de capacidade. A adubação de B foi feita via solo no dia 11/10/2023, juntamente com o plantio.

A colheita das vagens e a debulha foram realizadas manualmente, em janeiro de 2024, havendo a separação da parte aérea para pesagem da massa seca, contagem e pesagem dos grãos, e da raiz para determinação do volume. A altura das plantas também foi um parâmetro dimensionado, sendo medido com o auxílio de uma trena fixada a mesa.

O grau de umidade das sementes foi determinado a partir do método da estufa, de acordo com as Regras de Análise de sementes (BRASIL, 2009). As mesmas foram colocadas em cápsulas de peso conhecido, pesadas e levadas para a estufa por 24 horas. No dia seguinte, foram pesadas novamente e o valor obtido pela fórmula $[(P.I - P.F) / (P.I - TARA)] * 100$, foi justamente o teor de umidade referente àquela amostra, onde: P.I = peso inicial; P.F = peso final; TARA = peso da cápsula.

5.2 ANÁLISES REALIZADAS

5.2.1 Análises Fisiológicas

Foram realizadas medidas da taxa fotossintética (A), concentração interna de CO_2 (C_i), condutância estomática (Gs) e transpiração (E) no folíolo central do terceiro trifólio completamente expandido, sentido ápice-base, por meio do analisador portátil IRGA (*Infra Red Gas Analyzer*), modelo LI-6400XT (Li-cor®). Na câmara do aparelho, com dimensão de 2 cm^2 , foram mantidas constantes a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; referência de CO_2 de $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$; referência de água de $18\text{-}20 \text{ mmol mol}^{-1}$ e fluxo de CO_2 de $400 \mu\text{mol s}^{-1}$ e a fonte de luz 90% vermelha + 10% azul. As medições foram realizadas no interior da casa de vegetação entre 9 e 11h e em boas condições de luminosidade.

Para a determinação da clorofila foram realizadas medidas do índice

SPAD, utilizando o aparelho SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development, Minolta, Japão) no mesmo folíolo onde foi medida a taxa fotossintética, calculando-se o teor em miligrama de clorofila por metro quadrado de área foliar, com a equação proposta por Fritschi e Ray (2007).

$$\text{Clorofila mg m}^{-2} = 16,033 + 7,5774 * \text{Valor SPAD}$$

5.2.2 Determinação do Teor de Boro e Outros Nutrientes na Folha Diagnóstico

No estágio reprodutivo R2 (FEHR *et al.*, 1971) foram coletados o terceiro e quarto trifólio a partir do ápice (folha diagnóstico com pecíolo) de cada tratamento e secos em estufa de circulação forçada a 65°C para determinação dos teores totais de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

Para a determinação do teor de B nas folhas, foi utilizado o método descrito por Moller *et al.* (1997), onde 0,2 g de amostra seca e finamente moída é colocada em um cadinho de porcelana e levada para uma mufla a 550°C durante três horas. Após esfriar, 10 mL de HCl 0,1N foram adicionados ao cadinho para dissolver as cinzas, sendo deixado para decantar.

Para a próxima etapa, foi necessário preparar a solução tampão e a solução de azometina H 0,45%. Para a solução tampão, foi necessário dissolver 500 g de acetato de amônio e 30 g de etileno di-amino tetra-acético sal de sódio em 500 ml de água deionizada, juntando e homogeneizando lentamente 250 ml de ácido acético glacial. Para a solução de azometina H 0,45% foram utilizados 0,45 ml de azometina H dissolvidos em 100 mL de uma solução de ácido ascórbico a 1%, sendo mantida em frasco escuro e em local refrigerado por no máximo uma semana.

Em um tubo de ensaio, foram transferidos 0,2 ml do sobrenadante presente no cadinho, adicionando-se 2 ml de solução tampão e 2 ml de solução de azometina H 0,45%, sendo necessário agitar. A leitura do B foi realizada após 30 minutos em espectrofotômetro, comprimento de onda 420nm e filtro correspondente.

5.2.3 Componentes de Produção

Durante todo ciclo vegetativo foram coletadas as folhas senescentes para obtenção da produção de matéria seca total da parte aérea da planta (MSPA). Após o estágio de maturação fisiológica (R8) foram quantificadas a produção de grãos

(PG), número de vagens por vaso (NVV) e número de grãos por vagem (NGV) e a relação NGV/NVV. Os componentes de produção (número de vagens por vaso, peso de 100 sementes, número de grãos por vagem, volume de raízes, produção grãos) foram analisados no final do ciclo da cultura.

Para a MSPA, a parte aérea de todas as plântulas foi arrancada, com auxílio de uma tesoura, e colocada em sacos de papel, separadas por repetição. O material de cada repetição, previamente identificado, foi levado para a estufa mantido à temperatura de 80°C, permanecendo por 24 horas (Nakagawa, 1999). Após esfriar, cada repetição teve a massa determinada. Os resultados médios obtidos foram expressos em grama por plântula.

As raízes foram retiradas vaso por vaso, removendo todo resquício de solo aderido, e acondicionadas em saco de papel. Para determinação do volume, utilizou-se uma proveta preenchida com água onde, as raízes de cada tratamento, eram colocadas no seu interior e a diferença do nível da água era marcado. Para o valor final era necessário fazer a diferença do nível de água antes e depois da adição da raiz na proveta. Os resultados foram expressos em cm³.

5.2.4 Análise dos Atributos Químicos do Solo

A determinação dos atributos químicos do solo [pH, matéria orgânica (MO), P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al, Al³⁺, P-remanescente, capacidade de troca de cátions (CTC), B, Cu, Fe, Mn e Z], foi feita conforme metodologias descritas pela Embrapa (1997).

5.2.5 Teor de Lignina

O teor de lignina presente no tegumento da semente, foi quantificado a partir do método do brometo de acetil, definido por Moreira-Vilar (2014). Esse método é baseado na solubilização da lignina e na determinação dos valores de absorbância em 280 nm, sendo o resultado expresso em porcentagem.

Foram utilizadas quatro repetições de 100 sementes para cada tratamento, onde as sementes de soja foram imersas em água durante 12 horas, facilitando assim a retirada do tegumento (figura 5a). Em seguida, os tegumentos passaram por um processo de secagem em estufa a 105°C por 24 horas (figura 5b).

A matéria seca obtida foi moída e homogeneizada, aumentando assim a sua superfície de contato. Amostras de 300 mg do tegumento moído de cada tratamento foram acondicionados em tubos.

Para a extração da parede celular e a retirada das proteínas e outros compostos (MOREIRA-VILAR *et al.*, 2014), foram adicionados 7 mL de tampão fosfato a cada tubo contendo o tegumento moído, para estabilização do pH (pH 7). Foi efetuada a agitação das amostras para que toda a parte sólida entrasse em contato com a solução. O material foi centrifugado a 3.300 rpm por 6 minutos (figura 5c), sendo descartado o sobrenadante. O processo de agitação e centrifugação foi repetido mais duas vezes, realizando o mesmo processo três vezes com Triton X100 e duas vezes com NaCl, água e acetona.

O Triton X100, por ser um reagente hidrofílico, consegue interagir com a extremidade polar (água) e apolar (parede celular) se tornando um ligante entre elas, realizando a desestruturação das proteínas e deixando-as dispersas nas soluções. Já a adição do NaCl, foi efetuada para que as proteínas se estabilizassem, evitando aglutinação e mantendo as mesmas em solução. A água deionizada gelada garante a remoção total de proteínas e por fim, a adição de acetona faz com que ocorra a precipitação das amostras.

Realizado todo esse processo, os tubos foram levados ao dessecador a vácuo para flocularem (figura 5d), e em seguida o material foi seco em estufa a 60°C. Após a secagem, as amostras foram maceradas para que se obtenha uma maior superfície de contato. Nesta primeira etapa foi obtido o material isento de proteínas.

Foi realizada a pesagem do material (20 mg), o qual foi colocado em tubos de vidro. Sabendo que a lignina se encontra na parede celular entre a celulose e a hemicelulose, e para que seja possível a sua solubilização, foi adicionado 0,5 mL de brometo de acetila 25% em ácido acético e colocado em banho maria a 70°C durante 30 minutos (figura 5e). Posteriormente as amostras foram acondicionadas em gelo.

Foram adicionados 0,9 mL de NaOH com o intuito de parar a reação e 0,1 mL de hidroxilamina para complexação do brometo de acetila, que é um interferente a 280 nm. Após centrifugação a 4.000 rpm por 5 minutos, foram coletados 0,3 mL do sobrenadante que foram diluídos em 2,7 mL de ácido acético, realizando as leituras em espectrofotométrico a 280 nm (figura 5f). O teor de lignina foi obtido com base em uma curva padrão previamente estabelecida no laboratório. Os

resultados foram expressos como g% e mg g⁻¹ de lignina.



Figura 5. Remoção do tegumento das sementes de soja (a); Dessecação em estufa do tegumento (b); Centrifuga para homogeneização das amostras (c); Processo de floculação (d); Solubilização da lignina em banho maria (e); Leitura da absorbancia das amostras em espectrofotômetro UV com comprimento de onda de 280nm (f).

5.2.6 Extração e determinação dos monômeros de lignina

O método de oxidação por nitrobenzeno foi empregado de acordo com Scartlet et al. (1986), com modificações. A parede celular isenta de proteínas (50 mg) foi colocada em caçapas de inox de tampa com rosca, contendo 0,9 mL de NaOH

2 M e 100 μ L de nitrobenzeno.

As amostras foram levadas para uma estufa aquecida a 170°C por 150 minutos, com agitação na metade do tempo de reação. Após oxidação, as amostras foram resfriadas, lavadas duas vezes com água destilada/deionizada (2 mL por lavagem) e a solução vertida no funil de separação.

Em seguida, as amostras foram lavadas novamente com clorofórmio. Duas lavagens com clorofórmio (5 mL por lavagem), acidificada com 350 μ L de HCl 5 M e extraída duas vezes com clorofórmio (5 mL por extração). Os extratos orgânicos foram secos e ressuspensos em 1 mL de metanol. Todas as amostras foram filtradas em filtro de 0,45 μ m e analisadas por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

A fase móvel utilizada foi metanol/ácido acético 4% em água (20/80, v/v), com fluxo de 1,2 mL min⁻¹ para análise isocrática de 20 minutos. As quantificações dos monômeros *p*-hidroxifenil (H), guaiacil (G) e siringil (S) foram realizadas a 290 nm utilizando os padrões correspondentes. Os resultados foram expressos como μ g do monômero por mg⁻¹ de tegumento e vagem.

5.2.7 Teste de Comprimento de Plântulas

Para o desenvolvimento do teste de comprimento de plântula, foram utilizados 5 subamostras de 20 sementes cada repetição, arranjadas de forma orientada com a micrópila voltada para a parte inferior do papel, direcionando assim, o crescimento retilíneo da plântula.

O papel Germitest foi umedecido com água deionizada com 2,5 vezes seu peso, enrolado após a disposição das sementes, agrupado com elástico de borracha na parte superior e colocado em um saco plástico para manter a umidade. Posteriormente as amostras permaneceram na vertical no germinador a 25 °C com ausência de luminosidade por três dias (figura 6a)

Após os três dias, exatamente no mesmo horário da implantação do teste, as plântulas foram retiradas do germinador (figura 6b) e a leitura foi feita através do software "Vigor-S".

As plântulas foram transferidas dos rolos de papel de germinação para uma folha de papel de coloração azul de 30 x 22 cm, que correspondente ao tamanho da área útil atingida pelo scanner invertido, colocado sobre a plataforma interna da caixa metálica (figura 6c). Cada repetição, de 20 plântulas, eram escaneadas e as

imagens eram salvas e uma pasta no computador.

Posteriormente essas imagens capturadas pelas scanner foram submetidas ao software Vigor-S que foi instalado no computador. O software analisa as imagens marcando, em cada plântula, o hipocótilo de azul e as raízes de vermelho, identificando também as plântulas anormais e mortas, sendo tudo anotado pelo sistema (figura 6d).

Em alguns casos é necessário fazer a correção manual, com o auxílio do mouse e teclado, de demarcações onde o sistema não conseguiu determinar com tanta precisão o comprimento do hipocótilo e das raízes daquela plântula. No fim do processo, o software gera valores de índices de vigor e uniformidade variando de 0 a 1000, comprimento médio e sementes não germinadas.

O programa salva os dados de hipocótilo, raiz, comprimento total, e a relação entre hipocótilo e raiz, relatados em centímetros, em uma planilha de Excel. O tempo entre escanear as plântulas e a análise no software duram, no máximo, 5 minutos.



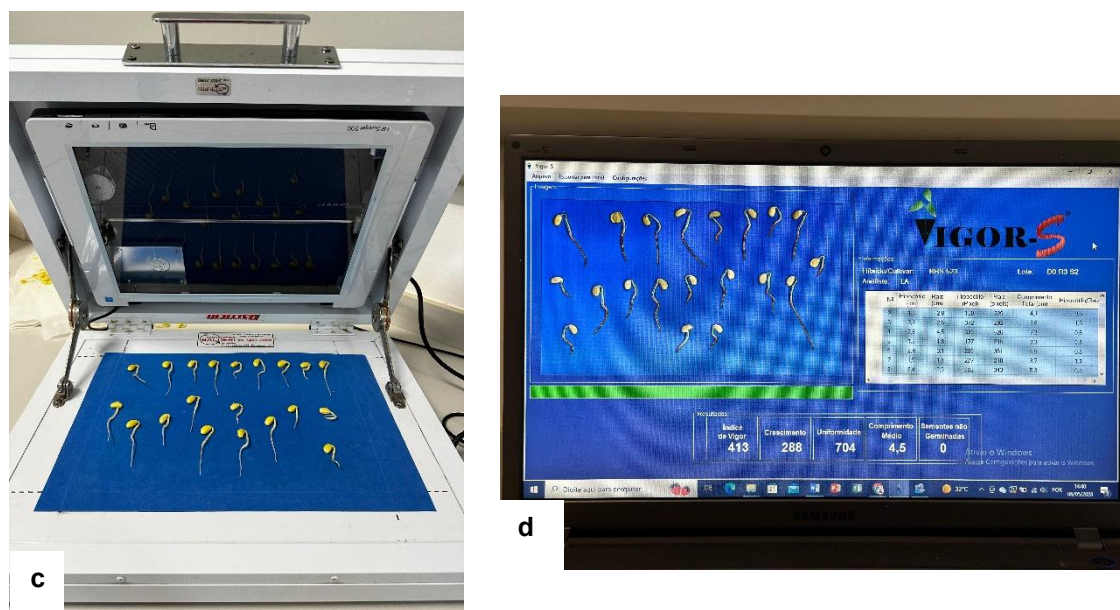


Figura 6. Germinador com ausência de luminosidade (a); Sementes de soja germinadas após três dias no germinador (b); Scanner com plântulas de soja germinadas (c); Software Vigor-S (d).

5.2.8 Análises Bioquímicas

Tecidos foliares foram macerados em nitrogênio líquido para quantificar as proteínas solúveis totais e determinar a atividade das enzimas antioxidantes catalase (CAT; EC 1.11.1.6) e superóxido dismutase (SOD; EC 1.15.1.1) e o conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2).

Para quantificação de CAT, SOD e proteínas solúveis totais, aproximadamente 100 mg de tecido macerado foram ressuspensos em 1,5 mL de solução salina tamponada com fosfato de potássio (100 mM, pH 7,5), procedimento adaptado de Gratão et al. (2014) (figura 7a e 7b). Para determinar o conteúdo de H_2O_2 , as amostras de tecido macerado, aproximadamente 100 mg, foram ressuspensas em ácido tricloroacético (TCA), de acordo com Alexieva et al. (2001).

As soluções foram centrifugadas a 10.000 g por 20 minutos a 4°C. Os sobrenadantes foram coletados e armazenados no freezer durante todo o período das análises (figura 7c e 7d). Todas as análises foram realizadas em três réplicas biológicas.

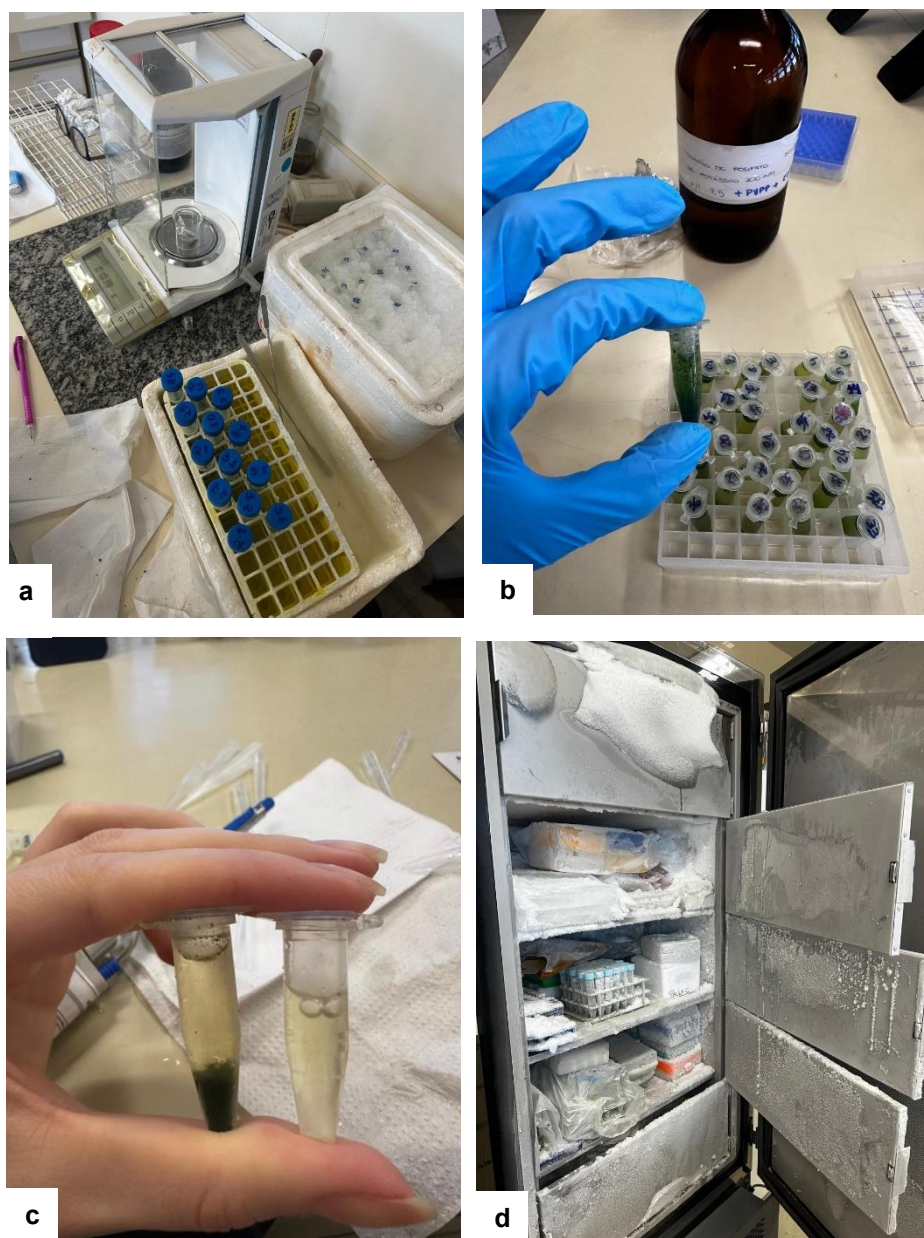


Figura 7. Coleta de 100 mg de tecido foliar macerado (a); Adição de solução salina tamponada com fosfato de potássio à amostra coletada (b); Coleta do sobrenadante para análises (c); Freezer para armazenamento das amostras (d).

5.2.8.1 Proteínas solúveis totais

Para quantificar as proteínas solúveis totais foi aplicado o método de Bradford (1976), utilizando-se um volume de extrato de 50 μL e 2,5 mL de solução reagente de Coomassie Blue. As absorbâncias foram lidas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 595 nm. A concentração de proteína foi calculada de acordo com curva analítica padrão ($r = 0,9684$) realizada com albumina sérica bovina (BSA) nas concentrações de 0,0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 mg mL^{-1} . Os resultados foram

expressos em mg de proteína g⁻¹ de massa fresca.

5.2.8.2 Catalase

A atividade da CAT foi determinada em volume de extrato de 50 µL, com o volume total de reação de 1 000 µL. O processo foi realizado com iluminação mínima, usando tubos envoltos em alumínio. A atividade enzimática foi determinada pelo monitoramento da taxa de decomposição de H₂O₂ (coeficiente de extinção molar de 36 M cm⁻¹) pela redução da absorbância a 240 nm, observada no período de 1 min (Anderson *et al.*, 1995). Os resultados foram expressos em µmol de H₂O₂ min⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

5.2.8.3 Superóxido dismutase

As mensurações da atividade da SOD foram realizadas de acordo com Broetto (2014) com pequenas modificações. O volume de extrato utilizado foi de 50 µL acrescidos de 2 950 µL de solução de trabalho, contendo metionina, cloreto de azul de nitrotetrazolio (NBT), EDTA dissódico e riboflavina, com exposição à luz por 10 minutos. Após esse período a absorbância das amostras foi medida em espectrofotômetro a 560 nm e comparadas ao controle composto pela solução de trabalho com exposição à luz, permitindo completa fotorredução do NBT. Uma unidade de SOD (U SOD) foi definida como a quantidade de enzima necessária para inibir em 50% a fotorredução do NBT. Os resultados foram expressos em U SOD mg⁻¹ de proteína.

5.2.8.4 Peróxido de hidrogênio

Quanto ao conteúdo de H₂O₂, uma reação baseada em iodeto de potássio (KI) foi realizada, seguindo os protocolos estabelecidos por Alexieva *et al.* (2001), a partir de 200 µL de extrato vegetal. As leituras foram feitas em um espectrofotômetro a 390 nm e os cálculos realizados a partir de curva analítica padrão ($r = 0,999$)¹ de H₂O₂ P.A., nas concentrações de 0,0; 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 e 15 µg mL⁻¹. Os resultados foram expressos em µmol H₂O₂ g⁻¹ de massa fresca.

5.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade dos resíduos de Shapiro-Wilk e de homogeneidade de variância (teste de Bartlett). Foi utilizado a análise de variância (ANOVA), teste F e de acordo com cada variável os tratamentos significativos pela ANOVA foram comparados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para comparação de cultivares e regressão para as doses de B dentro de cada cultivar e na média das cultivares. Adicionalmente, a associação entre as variáveis foi quantificada pelo coeficiente de correlação linear de Pearson. Todos os testes foram realizados ao nível de significância de 5% e as análises estatísticas foram efetuadas utilizando o software R Studio versão 4.4.2 (R Development Core Team, 2024).

6 RESULTADOS

Resultados foram divididos em dois artigos: Artigo A): Doses de boro no desempenho agrônomo de três cultivares de soja e Artigo B): Relação entre doses de boro, teor de lignina e seus monômeros na qualidade fisiológica de sementes de soja.

6.1 ARTIGO A

DOSES DE BORO NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DE TRÊS CULTIVARES DE SOJA

Larissa S. Dameto¹, Larissa A. C. Moraes², Adônis Moreira²

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, Estado do Paraná, Brasil. ²Departamento de Nutrição Mineral de Plantas, Embrapa Soja, Londrina, Estado do Paraná, Brasil.

Resumo: O Boro é um dos micronutrientes que mais limita a produtividade das culturas nas condições dos solos brasileiros, desempenhando um papel crucial em funções que vão desde o enraizamento das plantas até o enchimento dos grãos. Sua deficiência tem sido um problema recorrente na soja, pois, independentemente da eficiência ou não na absorção do elemento presente no solo, as plantas apresentam sensibilidade a esse nutriente. O objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes doses de Boro aplicadas a três cultivares de soja com o intuito de melhorar o seu desempenho e produtividade. Foi realizado em casa de vegetação da Embrapa Soja, localizada em Londrina (PR), com delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 3, sendo cinco doses de boro (0, 2, 4, 8 e 16 mg kg⁻¹) e três cultivares de soja (BRS 523, BRS 1003 IPRO e BRS 774 RR), com seis repetições. Foram feitas análises bioquímicas, avaliando os componentes de produção, o estado nutricional e atributos químicos do solo. Houve efeito de toxidez na dose 16 mg kg⁻¹ para todas as cultivares analisadas. A produção de grãos (PG) foi maior para a cultivar BRS 523, com destaque para a dose de 8 mg kg⁻¹ de B, sendo essa cultivar a que também apresentou maior porcentagem de óleo e a menor de proteína. O volume de raiz (VR) foi maior para a cultivar transgênica BRS 1003 IPRO até a dose de 2 mg kg⁻¹. A adubação de B aumentou os teores de N, P, K, Cu, Fe, Mn e Zn na

folha para as três cultivares analisadas.

Palavras-chave: *Glycine max*, adubação boratada, produtividade

Abstract: Boron is one of the micronutrients that most limits crop productivity under Brazilian soil conditions, playing a crucial role in functions ranging from plant rooting to grain filling. Its deficiency has been a recurring problem in soybeans because, regardless of the efficiency or otherwise of absorption of the element present in the soil, plants are sensitive to this nutrient. The aim of this study was to evaluate the effects of different doses of boron applied to three soybean cultivars in order to improve their performance and productivity. It was carried out in a greenhouse at Embrapa Soja, located in Londrina (PR), with a completely randomized experimental design, in a 5 x 3 factorial scheme, with five doses of boron (0, 2, 4, 8 and 16 mg kg⁻¹) and three soybean cultivars (BRS 523, BRS 1003 IPRO and BRS 774 RR), with six replications. Biochemical analyses were carried out, and production components, nutritional status and soil chemical attributes were assessed. There was a toxicity effect at a dose of 16 mg kg⁻¹ for all the cultivars analyzed. Grain yield (PG) was highest for the BRS 523 cultivar, especially at the 8 mg kg⁻¹ dose of B. This cultivar also had the highest percentage of oil and the lowest percentage of protein. Root volume (RV) was higher for the transgenic cultivar BRS 1003 IPRO up to the dose of 2 mg kg⁻¹. Fertilizing with B increased the levels of N, P, K, Cu, Fe, Mn and Zn in the leaf for all three cultivars analyzed.

Keywords: *Glycine max*, borate fertilization, productivity.

Introdução

A soja (*Glycine max* L.) desempenha um papel de grande importância entre as culturas cultivadas no Brasil, sendo a oleaginosa com a maior área de produção, o que coloca o país como o principal produtor e exportador (CONAB, 2025).

Devido ao crescimento das áreas cultivadas e à necessidade de aumentar o rendimento das lavouras, estudos têm se expandido com a finalidade de buscar maneiras de melhorar a produtividade dos grãos e reduzir os custos de produção. Entre as abordagens estão a seleção de cultivares, a definição da densidade ideal de plantas, o controle de plantas daninhas e pragas, além de alternativas como o uso de

fertilizantes (BALBINOT JUNIOR *et al.*, 2017).

De maneira geral, os teores de nutrientes nos solos brasileiros variam, normalmente, entre baixo e médio (SANTOS *et al.*, 2018). Com o fornecimento de macro e micronutrientes, através da fertilização, os processos fisiológicos da planta são modificados, gerando estímulos para o aumento da taxa de síntese de enzimas envolvidas na germinação das sementes (VEIGA *et al.*, 2010), além de promover o crescimento do comprimento da plântula e melhorar o potencial de armazenamento, visando assim aumentar a produção agrícola (VIEIRA, 2001).

Segundo Tomicioli, Leal e Coelho (2021), o Boro (B) é um micronutriente fundamental para o crescimento e desenvolvimento da soja, assim como para a produção de sementes e grãos. Tem papel importante na formação das raízes, pois atua na divisão celular, participa da fase de enchimento dos grãos, diminui a formação de calose no floema (CAKMAK, 1995, apud YAMADA, 2016; FANCELLI, 2010; LOUÉ, 1993; ORLANDO FILHO *et al.*, 2001), atua na germinação do grão de pólen e desenvolvimento do tubo polínico (MENGEL; KIRKBY, 2001), além de, em relação a redução de estresse, pode diminuir os efeitos negativos do alumínio sobre o crescimento do sistema radicular e aumentar a produção de substâncias de defesa (RIAZ *et al.*, 2018).

A deficiência de boro (B) tem sido um problema recorrente na soja, pois, mesmo com a eficiência no aproveitamento do elemento presente no solo, as plantas demonstram sensibilidade em relação a esse nutriente. Com o intuito de aprofundar os estudos já realizados que comprovam os inúmeros benefícios desse micronutriente para a cultura, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o desenvolvimento de três cultivares de soja, cultivadas sobre Latossolo Vermelho Distrófico, com aplicação de diferentes doses de B.

Material e Métodos

Local do experimento, tratamentos e delineamento

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação na Embrapa Soja localizada em Londrina, estado do Paraná, na latitude 23°11'37" S, longitude 51°11'03" O e altitude de 630 metros.

A soja foi cultivada em vasos de 5 L de capacidade e o solo utilizado foi o Latossolo Vermelho Distrófico coletado em área de mata nativa no município de Ponta

Grossa, Estado do Paraná com os seguintes atributos químicos: pH (CaCl₂) = 4,2, MOS = 38,1 g kg⁻¹, P = 7,1 mg kg⁻¹ (Mehlich 1), K⁺ = 0,3 cmolc kg⁻¹, Ca²⁺ = 2,8 cmolc kg⁻¹, Mg²⁺ = 1,2 cmolc kg⁻¹, Al³⁺ = 0,9 cmolc kg⁻¹, H+Al = 8,3 cmolc kg⁻¹, CTC = 12,7 cmolc kg⁻¹, S-SO₄²⁻ = 4,0 mg kg⁻¹, B = 0,3 mg kg⁻¹, Cu = 1,4 mg kg⁻¹, Fe = 221,6 mg kg⁻¹, Mn = 29,2 mg kg⁻¹, Zn = 1,1 mg kg⁻¹, areia = 38 g kg⁻¹ e argila = 510 g kg⁻¹ (EMBRAPA, 1997).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 3, sendo cinco doses de boro (0, 2, 4, 8 e 16 mg kg⁻¹), e três cultivares de soja (BRS 523, BRS 774 RR, BRS 1003 IPRO), com seis repetições.

Adubação e plantio

Trinta dias antes do plantio foi aplicado o equivalente a 5,0 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (MgO > 12%, PRNT 95%). Exceto N, que foi suprido pela inoculação das sementes com um coquetel de *Bradyrhizobium elkanii* + *B. japonicum* e as doses de B dentro de cada experimento, as adubações com fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cobalto (Co), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn) foram feitas de acordo com Moreira *et al.* (2011) adaptadas de Allen *et al.* (1976) para experimentos conduzidos em condições de casa de vegetação [150 mg kg⁻¹ de P-fosfato monoamônio (MAP), 1,5 mg kg⁻¹ de Cu (CuSO₄·7H₂O), 0,1 mg kg⁻¹ de molibdênio - Mo (Na₂Mo₄·2H₂O), 2,5 mg kg⁻¹ de Fe (FeSO₄·2H₂O), 0,01 mg kg⁻¹ de cobalto - Co (CoCl₂), 0,01 mg kg⁻¹ de níquel - Ni (NiSO₄·6H₂O), 5,0 mg kg⁻¹ de Mn (MnSO₄·3H₂O) e 5,0 mg kg⁻¹ de Zn (ZnSO₄·7H₂O)]. Nos estádios V2 e V4 foram feitas as adubações de cobertura parceladas duas vezes com 50 mg kg⁻¹ de K (K₂SO₄), totalizando 100 mg kg⁻¹ no ciclo.

Os vasos foram irrigados diariamente com água deionizada para manter o solo próximo de 70% do volume total de poros (VTP) e semeadas dez sementes das determinadas cultivares em cada vaso, e após o desbaste foram deixadas quatro plantas uniformes por vaso de barro de cinco litros de capacidade. A adubação de B foi feita via solo em outubro de 2023, juntamente com o plantio.

Colheita e análises laboratoriais

No estágio reprodutivo R2 (FEHR *et al.*, 1971), foram coletados o terceiro e o quarto trifólio a partir do ápice (folha diagnóstico com pecíolo) de cada tratamento, os quais foram secos em estufa com circulação forçada a 65°C para a determinação dos

teores totais de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA et al., 1997).

Foram realizadas medidas da taxa fotossintética (A), concentração interna de CO₂ (Ci), condutância estomática (Gs) e transpiração (E) no folíolo central do terceiro trifólio completamente expandido, sentido ápice-base, por meio do analisador portátil IRGA (*Infra Red Gas Analyzer*), modelo LI-6400XT (Li-cor®). Na câmara do aparelho, com dimensão de 2 cm², foram mantidas constantes a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de 1000 μmol m⁻² s⁻¹; referência de CO₂ de 400 μmol mol⁻¹; referência de água de 18-20 mmol mol⁻¹ e fluxo de CO₂ de 400 μmol s⁻¹ e a fonte de luz 90% vermelha + 10% azul. As medições foram realizadas no interior da casa de vegetação entre 9 e 11h e em boas condições de luminosidade.

Para a determinação da clorofila foram realizadas medidas do índice SPAD, utilizando o aparelho SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development, Minolta, Japão) no mesmo folíolo onde foi medida a taxa fotossintética, calculando-se o teor em miligrama de clorofila por metro quadrado de área foliar, com a equação proposta por Fritschi e Ray (2007).

$$\text{Clorofila mg m}^{-2} = 16,033 + 7,5774 * \text{Valor SPAD}$$

Durante todo o ciclo vegetativo, as folhas senescentes foram coletadas para determinar a produção de matéria seca total da parte aérea da planta (MSPA) e após o estágio de maturação fisiológica (R8, FEHR *et al.*, 1971), a colheita das vagens e a debulha foram realizadas manualmente.

Foi feita a separação da parte aérea para pesagem da massa seca, contagem e pesagem dos grãos, e da raiz para a realização do volume. A altura das plantas também foi um parâmetro dimensionado, sendo medido com o auxílio de uma trena fixada a mesa.

Foram quantificados a produção de grãos (PG), o número de vagens por vaso (NVV), o número de grãos por vagem (NGV), a relação NGV/NVV, peso de 100 sementes e volume de raízes (VR).

Para as análises bioquímicas, tecidos foliares foram macerados em nitrogênio líquido para quantificar as proteínas solúveis totais e determinar a atividade das enzimas antioxidantes catalase (CAT; EC 1.11.1.6) e superóxido dismutase (SOD; EC 1.15.1.1) e o conteúdo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂).

Para quantificar CAT, SOD e proteínas solúveis totais, cerca de 100 mg de tecido macerado foram ressuspensos em 1,5 mL de solução salina tamponada com

fosfato de potássio (100 mM, pH 7,5), seguindo o procedimento adaptado de Gratão et al. (2014). Para a determinação do conteúdo de H₂O₂, as amostras de tecido macerado (aproximadamente 100 mg) foram ressuspensas em ácido tricloroacético (TCA), conforme descrito por Alexieva et al. (2001). As soluções foram centrifugadas a 10.000 g por 20 minutos a 4°C. Os sobrenadantes foram coletados e armazenados no freezer durante todo o período das análises. Todas as análises foram realizadas em três réplicas biológicas.

A determinação dos atributos químicos do solo, incluindo pH, carbono (C), P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al, Al³⁺, capacidade de troca de cátions (CTC), B, Cu, Fe, Mn e Zn, foi realizada de acordo com as metodologias descritas pela Embrapa (1997).

Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade dos resíduos de Shapiro-Wilk e de homogeneidade de variância (teste de Bartlett). Foi utilizado a análise de variância (ANOVA), teste F e de acordo com cada variável os tratamentos significativos pela ANOVA foram comparados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para comparação de cultivares e regressão para as doses de B dentro de cada cultivar e na média das cultivares. Adicionalmente, a associação entre as variáveis foi quantificada pelo coeficiente de correlação linear de Pearson. Todos os testes foram realizados ao nível de significância de 5% e as análises estatísticas foram efetuadas utilizando o software R Studio versão 4.4.2 (R Development Core Team, 2024).

Resultados e Discussão

Visualmente foi possível notar na dose máxima utilizada (16,0 mg kg⁻¹ de B), nas três cultivares, a queima das bordas foliares, indicando necrose e clorose, tanto das folhas mais novas quanto nas mais velhas, seguidas de encarquilhamento e ausência de senescência, sintomas típicos de toxidez (Figura 1). As plantas apresentaram um menor porte, reduzindo a quantidade de vagens, a quantidade e peso dos grãos, volume de raiz e massa seca total, refletindo negativamente na produtividade (Tabela 1).

Nenhum sintoma visual de deficiência foi observado, mesmo no tratamento controle, onde o teor de B no solo (0,3 mg kg⁻¹) se apresentava bem abaixo do indicado como adequado (< 0,9 mg kg⁻¹; FAGERIA, 2009). Silva et al (2022) aconselham, quando os níveis de B estão abaixo do adequado, a aplicação do fertilizante via solo,

por possuir correção lenta, duradoura e preventiva, além de ter importante papel no crescimento radicular. Para a correção das deficiências e a prevenção de problemas de toxicidade, entender a capacidade do solo em adsorver B é essencial, realçando a lixiviação como um fator crucial na dinâmica do elemento no solo (Leonardi et al., 2023).

Em relação a massa seca, houve diferença significativa na interação doses e cultivares, onde a BRS 523 e 1003 IPRO se destacaram com uma média de 54,78 g e 58,73 g, respectivamente, e dentre as doses, o maior valor foi encontrado na de 8 mg kg⁻¹, independente da cultivar (Tabela 1). O aumento na massa seca indica que as plantas tiveram um melhor desenvolvimento vegetativo, o que reflete uma maior capacidade de absorção e utilização de nutrientes, além de uma fotossíntese mais eficiente (Oliveira et al., 2015). Esse crescimento implica diretamente na produtividade, uma vez que plantas com maior biomassa possuem maior área foliar e, conseqüentemente, maior potencial fotossintético, apresentando forte correlação positiva com os índices de componentes de produção como o PG, PV, NGV, NVV e no comprimento das plântulas (Gráfico 1).

O NGV é uma variável que pode ser controlada tanto por fatores genéticos quanto pela disponibilidade de nutrientes (Moura et al., 2013), apresentando correlação negativa com as doses e cultivares utilizadas (Gráfico 1). Nota-se a influência das doses, principalmente a de 16 mg kg⁻¹, devido a toxidez, diminuindo significativamente a produção, independente da cultivar, e a influência pela cultivar utilizada, havendo destaque para a cultivar convencional, BRS 523, com uma produção de 197,47 grãos. Esse resultado pode ser atribuído à quantidade adequada de B disponibilizada pela fonte e doses em questão durante as fases críticas de crescimento e formação dos grãos (Vera-Maldonado et al., 2024), sendo mais bem aproveitada pela cultivar convencional.

Na cultura da soja, a falta e o excesso desse nutriente podem comprometer diretamente a produtividade de grãos, sendo que quando utilizado na dose adequada promove incremento da produção e desenvolvimento da cultura. Santini et al. (2015) constataram aumento de produtividade de mais de 15% na soja com a aplicação de B, assim como Buzatto (2023) que mostrou um aumento gradativo na quantidade de grãos, chegando a 19% a mais que a testemunha.

Em outro estudo, com objetivo de avaliar componentes da planta e produção de soja em função de diferentes doses, modos, épocas de aplicação de B e

disponibilidade de água no solo, Silva et al. (2017) não observou diferenças significativas na maioria dos componentes agrônômicos avaliados em soja em função da aplicação de B na forma de ácido bórico.

Embora o B desempenhe um papel na translocação de açúcares para os órgãos propagativos (MALAVOLTA et al., 2002), no desenvolvimento reprodutivo e na eficiência do enchimento de grãos (LANA et al., 2017), só houve diferença significativa nos valores das massas de 100 grãos por conta da dose de 16 mg kg⁻¹ devido a toxidez, as demais permaneceram sem diferença para as cultivares BRS 523 e 774 RR. Para a BRS 1003 IPRO, a melhor dose foi a de 8 mg kg⁻¹ aumentando a massa para 16,47 g. As cultivares transgênicas obtiveram as melhores médias, com destaque para a BRS 774 RR com 15,05 g, representando 41% a mais do que a convencional BRS 523 (Tabela 1). Esse fato está relacionado a cultivar utilizada, pois materiais genéticos distintos podem expressar diferença no acúmulo de reservas nos grãos (Souza, et al., 2008), confirmando o estudo de Pandey e Torrie (1973) que também relatam ser um característica determinada geneticamente. Alguns estudos apontam o aumento da densidade dos grãos de soja com a aplicação de B, quando este, é aplicado na base e pulverizado via foliar na fase reprodutiva (R1 a R3), como Seidel e Basso (2012), Raimundi et al. (2013) e Silva et al. (2017).

Com um sistema radicular forte e bem desenvolvido, a planta é capaz de explorar um volume maior de solo, acessando com mais facilidade os recursos necessários. Houve diminuição acentuada do VR na dose de 16 mg kg⁻¹, tendo forte correlação negativa com as doses utilizadas (Gráfico 1), e influência das cultivares, com destaque para a IPRO com uma média de 38,13 cm³, sendo 21,1% maior que a BRS 523 (Tabela 1). Esse alcance maior a torna mais tolerante a condições adversas, como a escassez de água, ajudando-a a enfrentar melhor os desafios do ambiente (Nunes, 2023). Além disso, as raízes das plantas estabelecem diversas interações benéficas com os microrganismos do solo, o que pode contribuir ainda mais para o seu desenvolvimento (KLIMACZEWSKI, et al. 2024).

O índice relativo de clorofila apresentou diferença significativa somente na dose de 16 mg kg⁻¹ (Tabela 2) onde a planta sofreu com sintomas de toxidez, reduzindo a concentração de clorofila, a fixação de CO₂, área foliar e crescimento da planta como um todo, corroborando os resultados encontrados por Gomes et al. (2017). A cultivar BRS 774 RR se destacou com a maior média, chegando a 303,81 mg m⁻², apresentando também a melhor taxa fotossintética, taxa transpiratória e eficiência no

uso de H₂O (Tabela 3), indicando que as plantas podem ter acumulado mais biomassa e por consequência apresentarem maior área foliar gerando um maior potencial fotossintético. O efeito do B em condições adequadas as plantas tendem a desenvolver uma estrutura mais robusta, com maior resistência e estabilidade, o que contribui para o acúmulo de biomassa e estabilizando a área fotossinteticamente ativa (Oliveira et al., 2015).

Para os teores de óleo e proteína no grão da soja (Tabela 2), destacam-se a cultivar BRS 523 com média de 24,46% para óleo, e a BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO com 38,85% e 39,15% para proteína, respectivamente. De acordo com Pípolo et al. (2015), variações nos teores de proteína são determinados por fatores genéticos e ambientais, onde em muitos experimentos realizados in vivo, as mudanças na concentração de óleo e proteína têm sido interpretadas como resultado da temperatura, sem considerar o efeito da acumulação de matéria seca ou a taxa de crescimento da semente.

A correlação genética entre produtividade e proteína é regularmente baixa e negativa (HARTWIG; HINSON, 1972; BRIM; BURTON, 1979; BURTON, 1987; HELMS; ORF, 1998), enquanto a produtividade é positivamente correlacionada com o teor de óleo (BURTON, 1987; WILCOX; GOUDONG, 1997). Consolidando resultados já descritos na literatura, onde o aumento do teor da proteína diminui o teor de óleo e a produtividade, a cultivar BRS 523 teve o menor teor de proteína, apresentando o maior teor de óleo, e a maior produtividade.

A fim de reduzir os efeitos do estresse oxidativo, as plantas possuem um complexo sistema antioxidante composto pelas moléculas glutatona e ascorbato (Noctor; Foyer, 1998) e pelas enzimas removedoras de espécies reativas de oxigênio (ROS), como a superóxido dismutase (SODs) (Gupta et al. 1993), catalase (CAT) (Feierabend, 2005) e peroxidase (Banci, 1997). A SOD, considerada a primeira forma de defesa das plantas contra as EROS, converte O₂⁻ e HO₂⁺ em H₂O₂ (MITTLER, 2002; BHATTACHARJEE, 2010). Conforme a tabela 4, independente da cultivar, quanto maior a dose de B aplicada maior a atividade da SOD, indicando que quanto mais próximo da dose de 16 mg kg⁻¹, onde ocorreu sintomas de toxidez, ou seja, estresse na cultura, maior a atuação dessa enzima.

O teor de B no tecido foliar aumentou linearmente com a aplicação desse nutriente, e as cultivares BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO se destacaram com maior absorção, chegando a 67,67 mg kg⁻¹ e 71,70 mg kg⁻¹ respectivamente (Tabela 5).

Moreira et al. (2010), em três tipos de solos, também obtiveram efeito linear da aplicação de B no solo no aumento do teor foliar na soja. Vale ressaltar que, mesmo no tratamento sem B, os níveis do nutriente nas folhas estavam acima da faixa adequada para altas produtividades (25 a 55 mg kg⁻¹), conforme apresentado por Rosolem (2007).

As cultivares e a aplicação de doses de B apresentaram interações significativas para os teores na folha de N, P, Ca, Mg, S, B, Fe e Zn com efeito de doses para os níveis de N, P, K, Fe, Mn e Zn e de cultivar para N, P, S, Fe, Mn e Zn (Tabela 5). Dentre todos os nutrientes a ausência da interação com o P, K ou Mg pode ser esperada já que os mecanismos específicos de absorção e transporte que regulam o movimento do B nas plantas, são diferentes daqueles que regulam o movimento dos mesmos nutrientes. Já com o Ca, a interação se torna importante por possuírem movimentos similares de solução do solo para o sistema radicular, sendo variável de acordo com a cultivar utilizada, características do solo e condições climáticas (Leonardi, et al., 2023).

Nos atributos químicos do solo, somente o P disponível apresentou efeito das cultivares, com sua maior média a 12,40 mg kg⁻¹ para a BRS 1003 IPRO (Tabela 6). O teor de B disponível foi influenciado pelas doses, ficando extremamente acima da faixa adequada na aplicação de 16 mg kg⁻¹ de B, influenciando negativamente o desenvolvimento da cultura, diminuindo o PV, NVV, NGV, peso 100 grãos e VR de todas as cultivares (Tabela 1). Justamente pela aplicação de altas doses de calcário e nutrientes no vaso, onde há ausência de lixiviação e volatilização por conta dos coletores presentes, os efeitos de interação entre os outros nutrientes analisados acabam sendo minimizados (MOREIRA et al., 2011). A correção do solo com calcário eleva o pH e insolubiliza o Al³⁺ tornando-o inofensivo para as raízes e processos do solo.

Conclusões

As adubações com B devem ser realizadas buscando atingir teores acima do nível crítico, com o objetivo da sua correção no solo e aumento da produtividade das culturas. É importante definir a relação do teor de B disponível no solo e na planta para auxiliar na obtenção de respostas positivas à dose aplicada evitando o surgimento de sintomas de toxidez, à fim de se obter uma faixa apropriada para a recomendação do fertilizante. Quanto maior as doses de B utilizadas, maior o

incremento do micronutriente na folha diagnóstico e de B disponível no solo, independente da cultivar utilizada. A produção máxima de grãos apresentou efeito de doses e cultivares, sendo obtida na cultivar BRS 523 com aplicação de 8 mg kg⁻¹ de B. A cultivar BRS 1003 IPRO se destacou com o maior volume radicular, alcançado na dose de 2 mg kg⁻¹ de B. A toxidez causada pela dose 16 mg kg⁻¹, inviabilizou o desenvolvimento da cultura, comprometendo todos os componentes de produção. A aplicação de B aumentou os teores de N, P, K, Cu, Fe, Mn e Zn na folha para todas as cultivares.

Agradecimentos

À CAPES pelo apoio na realização do experimento, à equipe de Fertilidade do solo e Microbiologia pelo experimento realizado em Londrina (PR) e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Referências

- ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell and Environment**, 24:1337–1344, 2001.
- ALLEN, S. E.; TERMAN, G. L.; CLEMENTS, L. B. Greenhouse techniques for soilplant-fertilizer research. Muscle Shoals, USA: **National Fertilizer Development Center**, 1976.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; HIRAKURI, M. H.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; RIBEIRO, R. H. **Análise da área, produção e produtividade da soja no Brasil em duas décadas (1997-2016)**, Londrina: Embrapa, 2017.
- BANCI, L. 1997. Structural properties of peroxidases. **J. Biotechnol.** 53: 253- 263
- BHATTACHARJEE, S. Sítios de geração e base físico-química da formação de espécies reativas de oxigênio em células vegetais. In: **Espécies reativas de oxigênio e antioxidantes em plantas superiores**. CRC Press, 2010. p. 1-30.
- BRIM, C.A.; BURTON, J.W. Recurrent selection in soybeans II. Selection for increased percent protein in seeds. **Crop Science**, v.19, p.494-498, 1979.
- BURTON, J.W.; WILSON, R. F.; BRIM, C.A.; RINNE, R.W. Registration of soybean germplasm lines with modified fatty acid composition of seed oil. **Crop Science**, v. 29, p. 1583, 1989.
- BUZATTO, J.V.L. **Efeito da aplicação de boro na nutrição e na produtividade da soja**. Trabalho de conclusão de curso. UFMS. 2023.
- CAKMAK, I.; KURZ, H.; MARSCHNER, H. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of

sunflower. **Physiologia Plantarum**, v. 95, n. 1, p. 11-18, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1995.tb00801.x>

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra brasileira 2024/2025**. Safra de Grãos, 4º Levantamento. CONAB, 2025.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 1997. **Manual for Methods of Soil Analysis** [Manual de Métodos de Análise de Solo]. Rio de Janeiro, Brazil: Embrapa Solos.

FAGERIA, N. K. **The Use of Nutrients in Crop Plants**. Boca Raton, USA: CRC Press, 2009.

FANCELLI, A. L. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes na cultura de milho**. Informações Agrônomicas, n. 131, p. 1-16, 2010. Acesso em: 22 jan. 2025.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E.; BURMOOD, D. T.; PENNINGTON, J. S. 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science** 11 (6):929–931.

FEIERABEND, J. 2005. Catalases in plants: molecular and functional properties and role in stress defense. IN: Antioxidants and reactive oxygen species in plant (Smirnoff, N. ed). **Editora Blackwell Publishing**. p. 101- 130.

GRATÃO, P. L.; CARVALHO, R. F.; MONTEIRO, C. C. **Protocolos para avaliação do estresse oxidativo em plantas**. Laboratório de Fisiologia de Plantas – UNESP/Jaboticabal, 2014. 42p.

FRITSCHI, F.B.; RAY, D.J., Soybean leaf nitrogen, chlorophyll content, and chlorophyll a/b ratio. **Photosynthetica**, v.45; n.1; p.92-98, 2007.

GUPTA, A. S.; WEBB, R. P.; HOLADAY, A. S.; ALLEN, R. D. 1993. Overexpression of superoxide dismutase protects plants from oxidative stress. **Plant Physiol.** 103: 1067-1073.

HARTWIG, E.E.; HINSON, K. Association between chemical composition of seed and seed yield of soybeans. **Crop Science**, v.12, p.829-830, 1972.

HELMS, T.C.; ORF, J.H. Protein, oil, and yield in soybean lines selected for increased protein. **Crop Science**, v.38, p.707-711, 1998.

KLIMACZEWSKI, C. V.; FOLLMANN, D. N.; ZANON, A. J.; SANTOS, E. D.; ROSA, G. B.; PEREIRA, A. C.; SCHLÖSSER, O. D.; FERREIRA, J. C.; SANTOS, T. M.; MÜLLER, E. Desempenho agrônomico de soja associado à adubação complementar de base. **Revista Delos**, v.17, n.60, p. e2363, 2024. DOI: 10.55905/rdelosv17.n60-122. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/2363>. Acesso em: 27 jan. 2025.

LANA, R. M. Q.; QUEIROZ, I. D.; TORRES, J. L. R.; FERREIRA, A. D. S.; FARIA, M. V.; SIQUEIRA, T. P. (2017). Associação entre doses de nitrogênio e inoculação das sementes com bactéria diazotrófica no Milho. **Revista de la Facultad de Agronomía**,

116.

LEONARDI, M. **Estabelecimento inicial e produtividade da canola sobressemeada a soja e seus entraves em clima subtropical**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/29550>. Acesso em: 30 de janeiro de 2025.

LOUÉ, A. **Oligo-éléments en agriculture**. Antibes: Nathan, 1993. 557 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Evaluation of Nutritional Status of Plants: principles and applications** [Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações]. Piracicaba, Brazil: Potafos, 1997.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, E.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 200 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Dordrechth: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p

MITTLER, Ron. Estresse oxidativo, antioxidantes e tolerância ao estresse. **Tendências em ciência vegetal**, v. 7, n. 9, p. 405-410, 2002.

MOREIRA, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A. Yield, boron concentration and evaluation of extractants in soils cultivated with soybean. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p. 367–373, 2010.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K.; GARCIA Y GARCIA, A. Effect of liming on the nutritional conditions and yield of alfalfa grown in tropical conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, n. 8, p. 1107–1119, 2011.

MOURA, M. M.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. D. S.; CRUZ, C. D. (2013). Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 48, 417-425.

NOCTOR, G.; FOYER. C. H. 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. **Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.** 49: 249-279.

NUNES, C. A. **Tratamento de sementes de soja com produtos à base de fertilizantes e biofertilizantes**. 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

OLIVEIRA, A. M. G.; NATALE, W.; ROSA, R. C. C.; JUNGHANS, D. T. (2015). Adubação NK no abacaxizeiro 'BRS Imperial'-I-efeito no desenvolvimento e na floração da planta. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 37(3), 755-763.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; CASAGRANDE, A. A. **Cana-de-açúcar**. In: FERREIRA M.E. et al. (Ed). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq; Fapesp; Potafos: 355-368, 2001.

PANDEY, J.P.; TORRIE, J.H. Path coefficient analysis of seed yield components in

soybean (*Glycine max* L. Merrill). **Crop Science**, v.3, n.5, p. 505-507, 1973.

PÍPOLO, A. E.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; JUNIOR, A. S. B.; DEBIASI, H.; MANDARINO, J. M. G. **Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria**. Londrina, PR, EMBRAPA, 2015.

RAIMUNDI, D. L.; MOREIRA, G. C.; TURRI, L. T. Modos de aplicação de boro na cultura da soja. **Cultivando o Saber**, v. 6, n. 2, p.112-121, 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**, reference index version 4.4.2. 2024

RIAZ, M.; YAN, L.; WU, X.; HUSSAIN, S.; AZIZ, O.; WANG, Y.; IMRAM, M.; JIANG, C. Boron alleviates the aluminum toxicity in trifoliolate Orange by regulating antioxidante defense system and reducing root cell injury. **Journal of Environmental Management**, v. 208, p. 149-158, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.008>.

ROSOLEM, C. A. Produtividade máxima da soja. **Boletim de Pesquisa de Soja**. Rondonópolis: Fundação MT, p. 237-244, 2007.

SANTINI, J.M.K et al. **Adubação boratada na cultura da soja em área de cerrado**. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015, Natal -RN.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F.; *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2018.

SEIDEL, E. P.; BASSO, W. L. Adubação foliar a base de cálcio e boro no cultivo da soja (*Glycine max*). **Scientia Agraria Paranaensis**, v.11, n. 2, p 75-81, 2012.

SILVA, M. A.; SILVA, R. P.; SOUZA, E. J.; BERTOTTI, J. A. A.; NUÑEZ, D. N. C. Custo de produção da cultura da soja sob manejos de fitopatógenos e doses de boro. **Brazilian Journal of Science**, v. 1, n. 12, p. 49-62, 2022.

SILVA, R. C. D.; SILVA JUNIOR, G. S.; SILVA, C. S.; SANTOS, C. T.; PELÁ, A. Nutrição com boro na soja em função da disponibilidade de água no solo. **Revista Scientia Agrária**. Curitiba, v.18, n.4, p.155-165, 2017.

SOUZA, L.C.D.; SÁ, M.E.; CARVALHO, M.A.C.; SIMIDU, H.M. Produtividade de quatro cultivares de soja em função da aplicação de fertilizante mineral foliar a base de cálcio e boro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Paraíba, v. 8, n. 2, p. 37-44, 2008.

TOMICIOLI, R. M.; LEAL, F. T.; COELHO, A. P. Limitação da produtividade pela deficiência de boro nas culturas da soja, milho, feijão e café. **South American Sciences**, Brasil, v.2, n.1, p. e21100, 2021. DOI: 10.17648/sas.v2i1.100. DOI:<https://doi.org/10.17648/sas.v2i1.100>

VEIGA, A.D.; PINHO, É. V. D. R. V.; VEIGA, A. D.; PEREIRA, P. H. D. A. R.; OLIVEIRA, K. C. D.; PINHO, R. G. V. Influência do potássio e da calagem na composição química, qualidade fisiológica e na atividade enzimática de sementes de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.953-960, 2010. DOI:<https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000400022>.

VERA-MALDONADO, Peter et al. Role of boron and its interaction with other elements in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1332459, 2024.

VIEIRA, E. L. **Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor de plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2001.

WILCOX, J.R.; GUODONG, Z. Relationships between seed yield and seed protein in determinate and indeterminate soybean populations. **Crop Science**, v.37, p. 361-364, 1997.

YAMADA, T. 2016. **Síndrome das raízes atrofiadas**. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/52567382-Sindrome-das-raizes-atrofiadas-ii-deficiencia-de-boro.html>>.



Figura 8. Sintomas de toxidez de boro nas cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO com aplicação de 16 mg kg^{-1} de B.

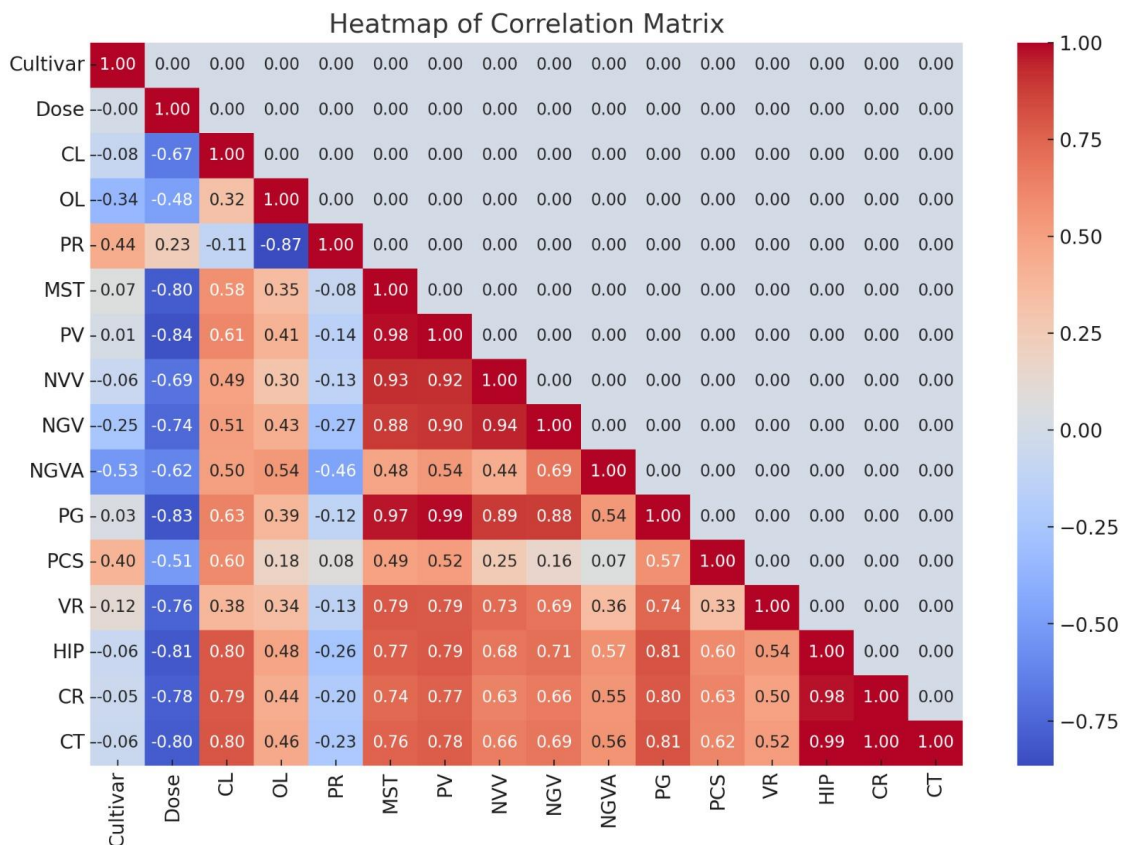


Gráfico 1. Matriz de correlação entre as variáveis analisadas: cultivar, dose, clorofila (CL), óleo (OL), proteína (PR), massa seca total (MST), peso de vagem (PV), número de vagens por vaso (NVV), número de grãos por vaso (NGV), número de grãos por vagem (NGVA), produção de grãos (PG), peso de cem sementes (PCS), volume de raiz (VR), comprimento do hipocótilo (HIP), comprimento radicular (CR), comprimento total (CT).

Tabela 1. Peso de vagens (PV), número de vagens por vaso (NVV), número de grãos por vaso (NGV), relação NGV/NVV, peso de 100 grãos, volume de raiz (VR) e massa seca total (MST) das cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO em resposta a doses de boro.

Doses de B (mg kg ⁻¹)	PV (g)	NVV (n)	NGV (n)	NGV/NVV	100 grãos (g)	VR (cm ³)	MST (g)
BRS 523							
0	46,32 a	101,33 a	246,33 a	2,43 a	12,88 a	50,00 a	75,67 a
2	35,49 b	85,50 b	205,17 b	2,40 a	11,41 a	37,50 b	55,41 b
4	33,47 b	91,33 b	217,33 b	2,40 a	10,55 a	30,83 b	55,01 b
8	37,48 b	112,83 a	236,50 a	2,09 b	10,67 a	33,00 b	66,39 a
16	9,43 c	47,00 c	82,00 c	1,75 c	7,67 b	6,00 c	21,41 c
MÉDIA	32,44 a	87,60 a	197,47 a	2,21 a	10,64 c	31,47 b	54,78 a
BRS 774 RR							
0	44,69 a	94,50 a	207,00 a	2,19 a	15,49 a	34,17 a	73,24 a
2	29,23 b	60,00 b	127,17 b	2,11 a	16,47 a	30,00 a	47,98 b
4	31,70 b	68,50 b	146,00 b	2,12 a	15,57 a	30,00 a	52,19 b
8	30,11 b	70,33 b	139,33 b	1,96 b	15,59 a	20,00 b	52,61 b
16	9,41 c	30,50 c	54,00 c	1,75 b	12,15 b	3,33 c	18,71 c
MÉDIA	29,03 b	64,77 b	134,70 c	2,03 b	15,05 a	23,50 c	48,94 b
BRS 1003 IPRO							
0	54,39 a	124,83 a	240,83 a	1,94 a	15,59 a	73,33 a	93,78 a
2	36,03 b	92,33 b	174,00 b	1,88 a	13,32 b	61,67 b	64,52 b
4	30,46 c	78,67 c	147,67 b	1,88 a	14,25 b	25,83 c	52,43 c
8	38,74 b	95,00 b	177,33 b	1,89 a	16,47 a	26,67 c	69,42 b
16	5,70 d	56,67 d	40,83 c	1,47 b	8,68 c	3,17 d	13,50 d
MÉDIA	33,07 a	83,50 a	156,13 b	1,81 c	13,66 b	38,13 a	58,73 a
Teste F							
Cultivar (A)	5,546*	26,963*	37,070*	36,672*	47,885*	18,144*	11,210*
Dose (B)	150,062*	79,866*	87,669*	25,592*	24,226*	68,544*	146,465*
A X B	2,720*	4,601*	2,554*	1,345 ^{NS}	2,560*	7,532*	3,989*
CV (%)	16,04	16,33	17,63	8,98	13,63	30,36	14,87

* e NS significativo e não significativo a 5% de probabilidade. CV, coeficiente de variação

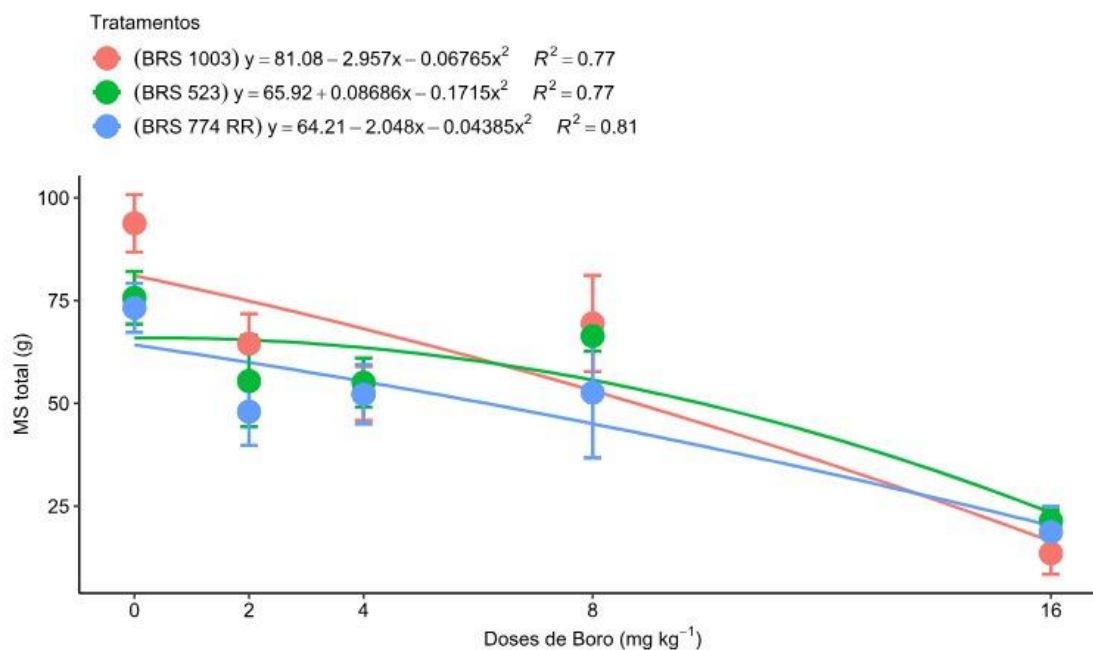
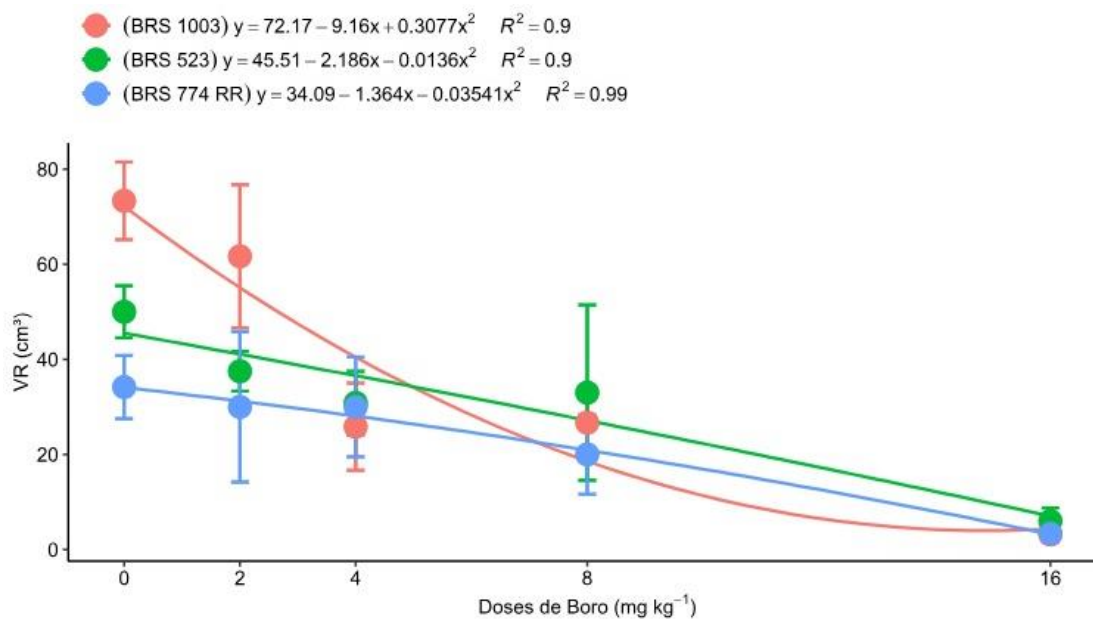


Gráfico 2. Relação volume radicular (VR) e massa seca total (MS) de acordo com doses de boro (0, 2, 4, 8, 16 mg kg⁻¹) aplicadas via solo nas cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO.

Tabela 2. Teor de clorofila, porcentagem de óleo e proteína no grão das cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO em relação a doses de B.

Doses de B (mg kg ⁻¹)	CLOROFILA (mg m ⁻²)	ÓLEO (%)	PROTEÍNA (%)
BRS 523			
0	295,17	25,99	35,92
2	295,22	26,12	34,28
4	282,67	24,64	35,79
8	294,59	24,24	37,37
16	249,58	21,33	40,40
MÉDIA	283,45 B	24,46 A	36,75 B
BRS 774 RR			
0	320,18	22,52	41,02
2	313,02	24,82	36,94
4	314,71	24,29	38,76
8	323,93	24,12	37,81
16	247,19	22,26	39,70
MÉDIA	303,81 A	23,60 B	38,85 A
BRS 1003 IPRO			
0	294,50	23,98	39,63
2	282,59	23,14	38,45
4	306,25	22,26	40,37
8	295,81	23,27	38,45
16	197,55	22,67	38,50
MÉDIA	275,34 B	23,06 B	39,15 A
Teste F			
Cultivar (A)	19,447*	12,695*	27,411*
Dose (B)	53,806*	14,630*	11,124*
A X B	3,556*	6,569*	8,217*
CV (%)	6,34	4,58	3,57

* e NS significativo e não significativo a 5% de probabilidade. CV, coeficiente de variação

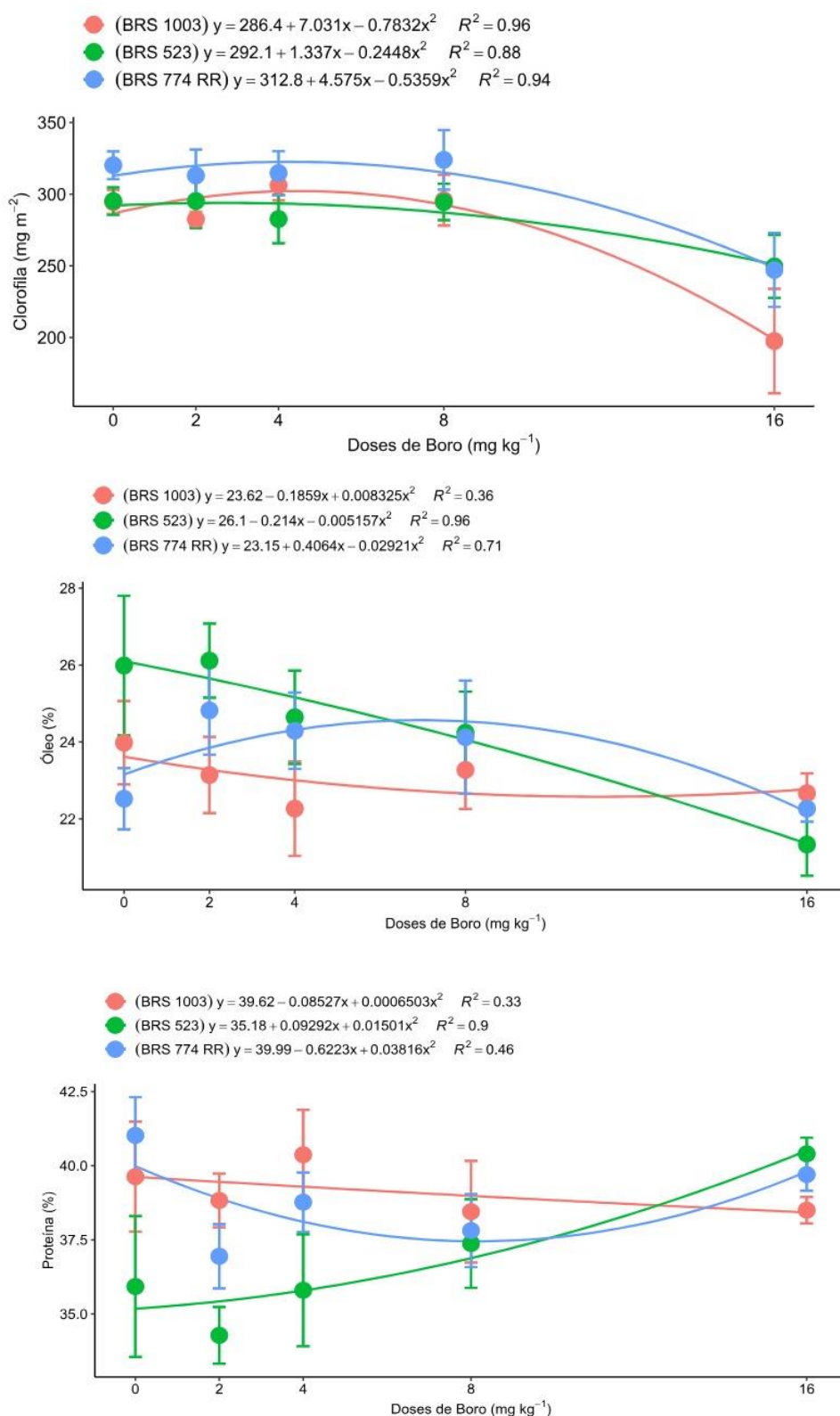


Gráfico 3. Correlação clorofila (mg m^{-2}), óleo (%) e proteína (%) no grão das cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO em reposta a doses de B (0, 2, 4, 8, 16 mg kg^{-1}) aplicadas via solo.

Tabela 3. Taxa fotossintética, condutância estomática (cond.), concentração intercelular de CO₂ (Ci), taxa transpiratória e eficiência no uso de H₂O das cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO de acordo com doses de B.

Doses de B (mg kg ⁻¹)	FOTOSSÍNTESE (mmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	COND. (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	CONCENT. INTERCELULAR CO ₂ (mmol CO ₂ mol ⁻¹)	TAXA TRANSP. (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	EFIC. DO USO DE H ₂ O
BRS 523					
0	12,72	0,37	300,70	8,96	1,42
2	10,91	0,34	302,58	9,51	1,16
4	9,09	0,40	316,74	10,31	0,88
8	10,91	0,38	317,18	9,60	1,03
16	6,39	0,45	333,07	11,81	0,55
MÉDIA	9,82 B	0,39 A	314,06 A	10,04 A	1,01 B
BRS 774 RR					
0	14,29	0,39	291,83	10,74	1,33
2	10,45	0,28	300,89	8,79	1,19
4	12,17	0,33	294,97	10,68	1,14
8	12,07	0,31	295,82	9,63	1,26
16	7,54	0,30	304,98	9,24	0,80
MÉDIA	11,30 A	0,32 B	297,70 B	9,82 A	1,14 A
BRS 1003 IPRO					
0	12,75	0,34	275,61	10,62	1,20
2	8,72	0,28	287,71	8,06	1,10
4	7,11	0,28	307,25	7,98	0,89
8	6,53	0,16	294,96	6,08	1,08
16	5,02	0,18	327,74	6,25	0,82
MÉDIA	8,03 C	0,25 C	298,65 B	7,80 B	1,02 B
Teste F					
Cultivar (A)	35,872*	50,559*	11,643*	29,237*	8,465*
Dose (B)	48,517*	7,185*	12,211*	5,148*	44,532*
A X B	3,059*	6,272*	2,121 ^{NS}	7,635*	3,255*
CV (%)	12,61	13,86	3,96	11,06	10,94

* e NS significativo e não significativo a 5% de probabilidade. CV, coeficiente de variação

Tabela 4. Teores de peróxido, catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD) das cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO em relação a doses de B.

Doses de B (mg kg ⁻¹)	PERÓXIDO (μmol de H ₂ O ₂ por g MF)	CAT (μM min ⁻¹ mg ⁻¹ PB)	SOD (U min ⁻¹ mg ⁻¹ PB)
BRS 523			
0	1,17	132,45	5,28
2	1,45	74,39	12,64
4	1,08	72,25	17,73
8	1,15	64,64	21,55
MÉDIA	1,21 B	85, 93 B	14,30 A
BRS 774 RR			
0	0,73	122,14	13,02
2	0,66	108,43	13,67
4	0,84	104,34	14,03
8	0,73	105,91	15,96
MÉDIA	0,74 C	110,20 A	14,17 A
BRS 1003 IPRO			
0	1,88	104,11	7,77
2	1,73	101,28	14,33
4	1,36	111,91	15,05
8	1,40	99,84	18,78
MÉDIA	1,59 A	104, 28 A	13,98 A
Teste F			
Cultivar (A)	22,664*	18,685*	0,182 ^{NS}
Dose (B)	0,983 ^{NS}	15,250*	90,584*
A X B	0,999 ^{NS}	8,039*	19,559*
CV (%)	26,31	10,13	9,12

* e NS significativo e não significativo a 5% de probabilidade. CV, coeficiente de variação.

Tabela 5. Teores de nutrientes na folha diagnóstico com pecíolo da soja nas cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO em relação a doses de B.

Doses de B (mg kg ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(g kg ⁻¹)						(mg kg ⁻¹)				
BRS 523											
0	31,93	1,99	13,25	7,12	4,49	1,32	25,37	11,17	83,33	136,67	25,67
2	32,88	2,01	16,10	7,77	4,21	1,68	45,75	9,16	106,83	154,67	17,17
4	32,43	2,23	17,03	7,98	4,14	2,80	63,53	6,83	89,33	145,17	24,50
8	37,01	2,96	14,79	9,45	4,92	2,25	78,64	13,50	128,67	150,00	34,16
16	41,93	3,23	14,71	8,01	4,15	2,58	102,04	10,67	139,83	145,83	45,00
MÉDIA	35,23 A	2,49 A	15,18 A	8,06 A	4,38 A	2,13 A	63,07 B	10,27 A	109,60 A	146,47 A	29,30 A
BRS 774 RR											
0	33,10	2,05 b	13,23	6,30	3,15	2,23	37,42	9,50	98,67	87,00	22,50
2	30,34	1,72 b	14,51	5,34	3,25	1,08	46,86	16,67	110,67	126,00	17,33
4	34,09	2,83 a	14,74	10,14	4,86	1,44	61,29	24,00	144,50	123,00	28,50
8	35,79	2,13 b	12,17	8,27	4,22	1,34	80,37	6,17	97,33	123,67	21,50
16	39,86	2,02 b	13,39	8,48	4,35	1,38	112,42	5,83	139,67	137,00	13,33
MÉDIA	34,64 A	2,15 B	13,60 A	7,70 A	3,96 A	1,49 B	67,67 A	12,43 A	118,17 A	119,33 B	20,63 C
BRS 1003 IPRO											
0	32,30	1,31	14,19	10,46	5,11	1,03	25,20	11,33	92,83	106,67	18,17
2	24,91	1,75	11,65	6,83	3,40	1,78	48,64	16,00	76,50	116,17	28,33
4	32,15	2,94	16,82	6,18	3,87	1,59	82,03	18,67	99,33	95,33	23,00
8	32,94	2,08	13,32	5,76	3,33	1,50	87,42	11,00	107,50	156,17	23,00
16	35,23	2,46	15,98	6,23	4,07	1,65	115,20	3,31	120,50	152,50	35,83
MÉDIA	31,51 B	2,11 B	14,39 A	7,09 A	3,96 A	1,51 B	71,70 A	12,06 A	99,33 B	125,37 B	25,67 B
Teste F											
Cultivar (A)	12,706*	7,169*	2,161 ^{NS}	2,145 ^{NS}	2,449 ^{NS}	5,913*	5,585*	0,360 ^{NS}	6,369*	7,266*	16,213*
Dose (B)	24,454*	17,251*	2,663*	1,781 ^{NS}	1,886 ^{NS}	1,023 ^{NS}	174,54*	2,301 ^{NS}	11,007*	4,740*	8,604*
A X B	2,237*	6,172*	1,283 ^{NS}	6,246*	3,938*	2,456*	2,355*	1,562 ^{NS}	4,329*	1,777 ^{NS}	12,065*
CV (%)	9,10	18,89	20,33	24,10	20,69	47,64	14,83	91,30	18,77	22,20	23,49

* e NS significativo e não significativo a 5% de probabilidade. CV, coeficiente de variação.

Tabela 6. Atributos químicos do solo após a colheita das cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO em relação a doses de B.

Doses de B (mg kg ⁻¹)	pH	C	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC	S-SO ₄ ²⁻	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(CaCl ₂)	(g kg ⁻¹)	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
BRS 523															
0	5,03	18,89	11,20	0,05	3,09	2,62	0,02	5,16	10,92	17,78	0,16	2,75	65,68	29,00	2,14
2	4,66	18,58	6,98	0,05	2,28	1,97	0,13	6,61	10,91	50,36	0,68	1,35	89,56	12,72	1,22
4	4,69	18,00	6,30	0,07	2,62	2,13	0,30	6,45	11,27	38,24	0,73	1,06	72,87	33,28	1,29
8	4,93	18,88	11,42	0,05	3,01	2,60	0,01	5,42	11,07	15,37	1,46	2,89	55,94	24,76	2,21
16	5,10	18,42	15,84	0,24	2,87	2,57	0,00	5,15	10,83	31,39	5,79	2,74	59,14	26,52	2,33
MÉDIA	4,88 A	18,55 A	10,35 B	0,09 A	2,77 A	2,38 A	0,09 A	5,76 A	11,00 A	30,63 A	1,76 A	2,16 A	68,64 A	25,26 A	1,84 A
BRS 774 RR															
0	5,06	18,24	8,95	0,05	2,81	2,50	0,00	5,35	10,71	16,28	0,22	2,43	62,53	23,89	1,95
2	4,86	18,60	5,93	0,07	2,49	2,11	0,03	6,45	11,12	44,26	0,85	1,36	130,31	15,54	1,27
4	4,61	19,45	6,54	0,06	2,49	1,91	0,17	6,69	11,16	40,53	1,05	1,13	74,92	34,10	1,36
8	5,15	18,73	12,32	0,06	3,15	2,75	0,00	4,90	10,86	24,82	1,61	2,81	57,93	26,26	2,79
16	5,11	18,48	14,00	0,27	2,73	2,29	0,00	5,18	10,48	23,83	5,84	2,24	75,81	30,65	2,26
MÉDIA	4,96 A	18,70 A	9,55 B	0,10 A	2,73 A	2,31 A	0,04 A	5,72 A	10,87 A	29,94 A	1,92 A	1,99 A	80,30 A	26,09 A	1,93 A
BRS 1003 IPRO															
0	5,07	17,91	12,82	0,06	2,94	2,48	0,00	5,09	10,57	15,97	0,18	3,12	62,79	29,64	2,88
2	4,58	19,27	5,95	0,05	2,28	1,70	0,20	6,95	10,97	46,42	0,58	1,23	89,98	19,63	1,24
4	4,49	19,09	6,19	0,05	1,88	1,56	0,30	7,39	10,89	45,91	1,11	1,27	95,45	12,84	1,19
8	5,08	18,02	15,20	0,06	3,26	2,80	0,00	5,15	11,27	19,76	1,26	2,88	72,44	28,09	2,49
16	5,31	19,56	21,81	0,35	3,22	2,78	0,00	4,72	11,07	31,69	5,76	3,11	55,84	24,16	2,91
MÉDIA	4,91 A	18,77 A	12,40 A	0,11 A	2,72 A	2,26 A	0,10 A	5,86 A	10,95 A	31,95 A	1,78 A	2,32 A	75,30 A	22,87 A	2,14 A
Teste F															
Cultivar (A)	0,844 ^{NS}	0,158 ^{NS}	6,125*	1,083 ^{NS}	0,105 ^{NS}	0,534 ^{NS}	1,326 ^{NS}	0,357 ^{NS}	0,559 ^{NS}	0,461 ^{NS}	2,401 ^{NS}	2,744 ^{NS}	1,137 ^{NS}	2,536 ^{NS}	1,377 ^{NS}
Dose (B)	21,441*	0,377 ^{NS}	36,670*	78,679*	10,751*	15,451*	10,081*	31,936*	1,935 ^{NS}	46,368*	1034*	43,832*	6,287*	13,211*	14,23*
A X B	1,455 ^{NS}	0,993 ^{NS}	1,982 ^{NS}	1,790 ^{NS}	1,688 ^{NS}	1,555 ^{NS}	0,493 ^{NS}	1,399 ^{NS}	1,11 ^{NS}	1,395 ^{NS}	0,995 ^{NS}	0,983 ^{NS}	1,215 ^{NS}	7,575*	0,947 ^{NS}
CV (%)	3,30	5,77	21,36	34,16	12,55	12,92	137,33	8,26	3,28	18,88	11,65	17,80	28,43	16,43	26,21

* e ^{NS} significativo e não significativo a 5% de probabilidade. CTC, $[(\sum K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+})/(\sum K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, H+Al)]/100$, CV, coeficiente de variação.

6.2 ARTIGO B

RELAÇÃO ENTRE DOSES DE BORO, TEOR DE LIGNINA E SEUS MONÔMEROS NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA

Larissa S. Dameto¹, Larissa A. C. Moraes², Adônis Moreira², Francisco Carlos Krzyzanowski³

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, Estado do Paraná, Brasil. ²Departamento de Nutrição Mineral de Plantas, Embrapa Soja, Londrina, Estado do Paraná, Brasil. ³Departamento de Tecnologia de Sementes, Embrapa Soja, Londrina, Estado do Paraná, Brasil

Resumo: A presença de altos teores de lignina nas paredes celulares das plantas de soja e a utilização do micronutriente Boro (B) na adubação da cultura, são meios utilizados para se alcançar inúmeros benefícios para a qualidade das sementes, proporcionando um aumento da longevidade, mantendo o vigor e viabilidade, e minimizando os efeitos de deterioração. No entanto, a relação entre o micronutriente e a porcentagem de lignina, incluindo sua composição monomérica, não é de todo conhecida. O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes de soja, de três cultivares com percentuais de lignina diferentes, em relação a doses de Boro aplicadas via solo. O trabalho foi realizado em casa de vegetação da Embrapa Soja, localizada em Londrina (PR), com delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 3, sendo cinco doses de boro (0, 2, 4, 8 e 16 mg kg⁻¹) e três cultivares de soja (BRS 523, BRS 1003 IPRO e BRS 774 RR), com seis repetições. As doses de B não influenciaram o percentual de germinação das cultivares. A cultivar BRS 774 RR apresentou o maior comprimento de plântulas. Em relação a lignina, a BRS 523 se destaca com teores de 4,76 e 12,1 mg g⁻¹ no tegumento e na vagem, respectivamente, sendo nas doses 2,0 e 4,0 mg kg⁻¹ de B as maiores concentrações dessa variável, independente da cultivar. Doses maiores de B influenciaram negativamente a relação Siringil/Guaiacil da cultivar BRS 523, diminuindo também a relação na vagem para a BRS 774 RR e no tegumento para a BRS 1003 IPRO. O tegumento das sementes da BRS 523 quando comparado com as demais estudadas, apresenta maior teor de Guaiacil (G) e relação S/G menor.

Palavras-chave: *Glycine max*, qualidade da semente, composição monomérica, micronutriente

Abstract: The presence of high levels of lignin in the cell walls of soybean plants and the use of the micronutrient Boron (B) in the fertilization of the crop, are means used to achieve numerous benefits for seed quality, providing an increase in longevity, maintaining vigor and viability, and minimizing the effects of deterioration. However, the relationship between the micronutrient and the percentage of lignin, including its monomeric composition, is not well known. The aim of this study was to evaluate the physiological quality of soybean seeds from three cultivars with different lignin percentages, in relation to boron doses applied via soil. The work was carried out in a greenhouse at Embrapa Soja, located in Londrina (PR), with a completely randomized experimental design, in a 5 x 3 factorial scheme, with five doses of boron (0, 2, 4, 8 and 16 mg kg⁻¹) and three soybean cultivars (BRS 523, BRS 1003 IPRO and BRS 774 RR), with six replications. The doses of B did not influence the germination percentage of the cultivars. The BRS 774 RR cultivar had the longest seedlings. In terms of lignin, BRS 523 stood out with levels of 4.76 and 12.1 mg g⁻¹ in the tegument and pod, respectively, with the highest concentrations of this variable at doses of 2.0 and 4.0 mg kg⁻¹ of B, regardless of cultivar. Higher doses of B negatively influenced the Syringyl/Guaiacyl ratio of the BRS 523 cultivar, also reducing the ratio in the pod for BRS 774 RR and in the tegument for BRS 1003 IPRO. The seed coat of BRS 523, when compared to the others studied, has a higher Guaiacil (G) content and a lower S/G ratio.

Keywords: *Glycine max*, seed quality, monomeric composition, micronutrient

Introdução

A cultura da soja se destaca no mercado mundial e, desde a segunda metade do século XX, tem ganhado grande importância no comércio internacional. Segundo a Conab (2025) a safra brasileira 2024-2025 varia 12,6% em relação à safra anterior, chegando a uma produção de 166.328,4 mil t, onde o Paraná contribui com 20.746,4 mil t, numa área de 5.845,7 mil e produtividade de 3.549 kg/ha.

Com a busca excessiva por altos rendimentos de produção, é inevitável a

preocupação com a qualidade das sementes que serão produzidas e utilizadas durante as safras (COSTA *et al.*, 2003). Sementes de alta qualidade minimizam os prejuízos que podem ser causados pela utilização de sementes de baixa qualidade como desuniformidade da lavoura, falhas, redução da produtividade, ressemeadura, emergência e estabelecimento.

Segundo França Neto *et al.* (2010) e Marcos Filho (2005), para ser considerada de alta qualidade, a semente de soja deve estar livre de misturas varietais ou de sementes de espécies invasoras, isenta de patógenos e com altas taxas de germinação e vigor, conservando assim seus atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários. Antes de serem destinadas ao plantio, as sementes passam por um rigoroso controle de qualidade realizado em laboratórios de análise de sementes, resultando em uma certificação que garante sua pureza e alto vigor (PITTELKOW; PASQUALLI, 2014).

Carvalho e Nakagawa (1988) citam vários trabalhos que mostram a influência do nível de vigor sobre a produtividade, sendo frequente a ocorrência de reduções significativas na produção pelo uso de sementes de baixo vigor. Em soja, Kolchinski *et al.*, (2005) verificaram que plantas provenientes das sementes de alto vigor apresentam maior índice de área foliar, produção de matéria seca e acréscimos superiores a 35% no rendimento de sementes, em relação ao uso das sementes de baixo vigor.

Uma das características relacionadas ao alto vigor das sementes de soja é o teor de lignina presente no seu tegumento (KRZYZANOWSKI *et al.*, 2023). Considerada o segundo polímero mais abundante na natureza depois da celulose, a lignina é um composto fenólico presente nos tecidos das angiospermas e gimnospermas que desempenha função essencial no transporte de água, metabólitos e nutrientes, além de proporcionar resistência mecânica às plantas e proteger os tecidos contra ataques de microrganismos (FENGEL & WEGENER, 1984), justamente por apresentar como característica principal sua alta rigidez e hidrofobia (FRY, 1998; TERASHIMA *et al.*, 1993; RAVEN *et al.*, 2001).

A determinação do conteúdo de lignina no tegumento das sementes é realizada em programas de melhoramento, contribuindo para o desenvolvimento de linhagens e cultivares que apresentam maior tolerância às adversidades do campo e condições de armazenamento (FRANÇA NETO; KRZYZANOWSKI, 2003). Além da importância da presença de teores de lignina no tegumento que proporcionem melhores

qualidades físicas e fisiológicas e maior resistência a danos mecânicos para a semente, a sua composição monomérica pode variar significativamente entre diferentes tecidos vegetais (VANHOLME et al., 2010), e tem seu papel ainda desconhecido.

Além da atenção voltada ao vigor das sementes, outro fator muito importante para o aumento da produtividade da cultura é um bom manejo nutricional, com macro e micronutrientes (SILVA et al., 2017). Dentre os micronutrientes, o Boro (B) se destaca por desempenhar na planta funções diretamente ligadas à produção, incrementando o pegamento de flores e a granação em várias culturas (MALAVOLTA 2006).

Atua como regulador enzimático e nos processos de estrutura e funcionamento das membranas, na formação da parede celular, síntese de proteínas, síntese e transporte de carboidratos, fixação de nitrogênio, fotossíntese e crescimento, além de proporcionar resistência às doenças (FERNANDES, 2006). De acordo com Santos (2016), a utilização de micronutrientes que são imóveis ou apresentam baixa mobilidade na planta, como por exemplo o B, pode ser a causa do crescimento da massa de grãos e da maior fixação das vagens, aumentando a qualidade das sementes de soja.

A deficiência de boro causa alterações na estrutura do carbono orgânico das paredes celulares, afetando não apenas as ligações entre esses compostos, mas também sua quantidade. Observa-se um aumento no teor de aminoácidos, celulose, fenóis e lignina, o que provoca inchaço e enfraquece a integridade estrutural da parede celular. Esse enfraquecimento é considerado uma das principais causas da interrupção do crescimento e do alargamento dos ápices meristemáticos, como observado em raízes de citros (WU et al., 2017).

Sabendo que a adubação é uma das formas de atender às necessidades das plantas e corrigir possíveis deficiências nutricionais, e a relação do micronutriente boro com o teor de lignina, objetivou-se avaliar os possíveis benefícios a qualidade das sementes de três cultivares de soja com diferentes teores de lignina em relação a aplicação de doses de ácido bórico.

Material e Métodos

Local do experimento, tratamentos e delineamento

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação na Embrapa Soja localizada em Londrina, estado do Paraná, na latitude 23°11'37" S, longitude 51°11'03" O e altitude de 630 metros.

A soja foi cultivada em vasos de 5 L de capacidade e o solo utilizado foi o Latossolo Vermelho Distrófico coletado em área de mata nativa no município de Ponta Grossa, Estado do Paraná com os seguintes atributos químicos: pH (CaCl₂) = 4,2, MOS = 38,1 g kg⁻¹, P = 7,1 mg kg⁻¹ (Mehlich 1), K⁺ = 0,3 cmolc kg⁻¹, Ca²⁺ = 2,8 cmolc kg⁻¹, Mg²⁺ = 1,2 cmolc kg⁻¹, Al³⁺ = 0,9 cmolc kg⁻¹, H+Al = 8,3 cmolc kg⁻¹, CTC = 12,7 cmolc kg⁻¹, S-SO₄²⁻ = 4,0 mg kg⁻¹, B = 0,3 mg kg⁻¹, Cu = 1,4 mg kg⁻¹, Fe = 221,6 mg kg⁻¹, Mn = 29,2 mg kg⁻¹, Zn = 1,1 mg kg⁻¹, areia = 38 g kg⁻¹ e argila = 510 g kg⁻¹ (EMBRAPA, 1997).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 3, sendo cinco doses de boro (0, 2, 4, 8 e 16 mg kg⁻¹), e três cultivares de soja (BRS 523, BRS 774RR, BRS 1003 IPRO), com seis repetições.

Adubação e plantio

Trinta dias antes do plantio foi aplicado o equivalente a 5,0 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (MgO > 12%, PRNT 95%). Exceto N, que foi suprido pela inoculação das sementes com um coquetel de *Bradyrhizobium elkanii* + *B. japonicum* e as doses de B dentro de cada experimento, as adubações com fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cobalto (Co), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn) foram feitas de acordo com Moreira *et al.* (2011) adaptadas de Allen *et al.* (1976) para experimentos conduzidos em condições de casa de vegetação [150 mg kg⁻¹ de P-fosfato monoamônio (MAP), 1,5 mg kg⁻¹ de Cu (CuSO₄·7H₂O), 0,1 mg kg⁻¹ de molibdênio - Mo (Na₂Mo₄·2H₂O), 2,5 mg kg⁻¹ de Fe (FeSO₄·2H₂O), 0,01 mg kg⁻¹ de cobalto - Co (CoCl₂), 0,01 mg kg⁻¹ de níquel - Ni (NiSO₄·6H₂O), 5,0 mg kg⁻¹ de Mn (MnSO₄·3H₂O) e 5,0 mg kg⁻¹ de Zn (ZnSO₄·7H₂O)]. Nos estádios V2 e V4 foram feitas as adubações de cobertura parceladas duas vezes com 50 mg kg⁻¹ de K (K₂SO₄), totalizando 100 mg kg⁻¹ no ciclo.

Os vasos foram irrigados diariamente com água deionizada para manter o solo próximo de 70% do volume total de poros (VTP) e semeadas dez sementes das determinadas cultivares em cada vaso, e após o desbaste foram deixadas quatro plantas uniformes por vaso de barro de cinco litros de capacidade. A adubação de B foi feita via solo em outubro de 2023, juntamente com o plantio.

Colheita e análises das sementes

A colheita das vagens e a debulha foram realizadas manualmente no final do ciclo de cultivo da soja (R8, FEHR et al., 1971). Foram quantificados a produção de grãos (PG), o número de vagens por vaso (NVV), o número de grãos por vagem (NGV), a relação NGV/NVV e o volume de raízes. Amostras foram coletadas para determinação do peso de 100 sementes e, posteriormente, submetidas aos testes de qualidade fisiológica de sementes de soja de acordo com BRASIL (2009).

O teste de germinação foi realizado de acordo com as regras para análise de sementes (BRASIL, 2009). Para o percentual médio de germinação, os valores de plântulas normais das quatro subamostras utilizadas foram somados e dividido por dois.

Para o teste de comprimento de plântulas da parte aérea (CPA) e sistema radicular (CR), foram utilizadas cinco repetições com 20 sementes cada arranjadas de forma orientada com a micrópila voltada para a parte inferior do papel, direcionando assim, seu crescimento retilíneo. Após os três dias, as plântulas foram retiradas do germinador para serem escaneadas e analisadas com o programa VIGORS® (LEITE et al., 2019).

O teor de lignina presente no tegumento da semente, foi quantificado a partir do método do brometo de acetil, definido por Moreira-Vilar (2014). Esse método é baseado na solubilização da lignina e na determinação dos valores de absorvância em 280 nm, sendo o resultado expresso em porcentagem.

A extração e determinação dos monômeros de lignina foram realizados pelo método de oxidação por nitrobenzeno, empregado de acordo com Scalbert et al. (1986), com modificações. A parede celular isenta de proteínas (50 mg) foi colocada em caçapas de inox de tampa com rosca, contendo 0,9 mL de NaOH 2 M e 100 µL de nitrobenzeno. As amostras foram levadas para uma estufa aquecida a 170°C por 150 minutos, com agitação na metade do tempo de reação. Após oxidação, as amostras foram resfriadas, lavadas duas vezes com água destilada/deionizada (2 mL por lavagem) e a solução vertida no funil de separação. Em seguida, as amostras foram lavadas novamente com clorofórmio. Duas lavagens com clorofórmio (5 mL por lavagem), acidificada com 350 µL de HCl 5 M e extraída duas vezes com clorofórmio (5 mL por extração). Os extratos orgânicos foram secos e ressuspensos em 1 mL de metanol. Todas as amostras foram filtradas em filtro de 0,45 µm e analisadas por

cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). A fase móvel utilizada foi metanol/ácido acético 4% em água (20/80, v/v), com fluxo de 1,2 mL min⁻¹ para análise isocrática de 20 minutos. As quantificações dos monômeros *p*-hidroxifenil (H), guaiacil (G) e siringil (S) foram realizadas a 290 nm utilizando os padrões correspondentes. Os resultados foram expressos como µg do monômero por mg⁻¹ de tegumento e vagem.

Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade dos resíduos de Shapiro-Wilk e de homogeneidade de variância (teste de Bartlett). Foi utilizado a análise de variância (ANOVA), teste F e de acordo com cada variável os tratamentos significativos pela ANOVA foram comparados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para comparação de cultivares e regressão para as doses de B dentro de cada cultivar e na média das cultivares. Adicionalmente, a associação entre as variáveis foi quantificada pelo coeficiente de correlação linear de Pearson. Todos os testes foram realizados ao nível de significância de 5% e as análises estatísticas foram efetuadas utilizando o software R Studio versão 4.4.2 (R Development Core Team, 2024).

Resultados e Discussão

Devido a toxidez causada pela dose de 16,0 mg kg⁻¹ de B nas três cultivares, as plantas não se desenvolveram corretamente, diminuindo seu porte, a quantidade de vagens e conseqüentemente a produção de grãos, o que impossibilitou as análises de sementes para essa dose.

Na tabela 1 são apresentados os resultados de germinação, comprimento total (CT), do hipocótilo (CH) e das raízes (CR) das plântulas de soja. A porcentagem de germinação não sofreu influenciada pelas cultivares, doses de B e interação cultivares e doses, enquanto o CH e o CR apresentaram interação significativa.

O comprimento das plantas é um parâmetro que pode ser utilizado para estimar o vigor do lote de sementes, já que sementes de alto vigor originam plântulas com elevadas taxas de crescimento, capacidade de transformação, maior suprimento de reservas dos tecidos de armazenamento e elevada incorporação destes pelo eixo embrionário (DAN et al., 1987). De acordo com as cultivares utilizadas, a BRS 774 RR se destacou por possuir maior dimensão, chegando a 4,91 cm com 2,21 cm de hipocótilo e 2,70 cm de raiz (Tabela 1), o que leva a uma maior capacidade na extração

de água e nutrientes necessários para o seu desenvolvimento, de modo que sistemas radiculares mais desenvolvidos resultam em lavouras com maior potencial produtivo (LYNCH, 1995; RAVEN et al., 1996). Houve diferença significativa entre as doses de B utilizadas onde, independente da cultivar, a dose de 8 mg kg^{-1} foi a que causou melhor resposta em relação a esse parâmetro, caracterizam o papel do B no alongamento e divisão celular, onde sua deficiência pode inibir esse feito (GUPTA, 1993; MENGEL, KIRKBY 2001).

Furlani et al (2001) observaram o crescimento em altura das plantas de soja das quatro cultivares analisados de acordo com as concentrações crescentes de B e concluíram que todos os cultivares responderam, de maneira semelhante, às doses, observando máximo crescimento em altura entre $0,05$ e $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ de B na solução.

Tanto no tegumento quanto na vagem, nas três cultivares avaliadas, as melhores médias para o teor de lignina, foram observadas com a aplicação de $2,0$ e $4,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de B. Em relação as microgramas de lignina por grama de parede celular, a cultivar BRS 523 se destaca com $4,76 \text{ mg g}^{-1}$ e $12,1 \text{ mg g}^{-1}$, seguida da BRS 1003 IPRO com $4,32 \text{ mg g}^{-1}$ e $11,97 \text{ mg g}^{-1}$ e da BRS 774 RR com $4,19 \text{ mg g}^{-1}$ e $11,52 \text{ mg g}^{-1}$, no tegumento e na vagem, respectivamente (Gráfico 1).

Madureira (2021) obteve resultados onde as cultivares com menor problema de deterioração por umidade em pré-colheita foram as cultivares com maior teor de lignina, alto vigor e viabilidade e alto teor germinativo. Huth (2015) também afirma que as cultivares analisadas com maiores teores de lignina no tegumento das sementes, proporcionaram uma tolerância à deterioração por umidade, resultando em um maior número de plântulas normais no teste de germinação, mais vigorosas e uma menor porcentagem de dano por umidade.

A lignina é composta principalmente por três monômeros: p-hidroxifenil (H), guaiacil (G) e siringil (S) (MARCHIOSI et al., 2020), sendo sua composição variável entre diferentes tecidos e variedades de plantas, influenciando sua resistência a danos mecânicos. Além de H, G, S, a lignina também pode apresentar, em sua estrutura, compostos fenólicos provenientes da via fenilpropanoide, como, compostos fenólicos derivados da biossíntese simplificada de monoésteres de lignina, monoésteres de lignina, ésteres de ácido ferúlico, hidroxiestilbeno, trioctila, flavonoides, e amidas hidroxicinâmicas (DEL RÍO et al., 2020). Por isso, mensurar sua composição, quantificando seus monômeros, é de total importância para compreender seu papel na proteção da semente.

Nesse estudo, a fim de constatar influências do micronutriente B sobre a composição monomérica da lignina, realizamos a quantificação dos monômeros para as doses 0 e 8 mg kg⁻¹ de B (Gráfico 2). A diferença relatada entre as concentrações teve maior atuação na cultivar BRS 523, onde o aumento da dose de B resultou em uma diminuição no teor de G, aumentando a relação S/G, principalmente no tegumento. Para a BRS 774 RR houve o aumento na relação S/G para os teores na vagem, e na cultivar IPRO para os teores no tegumento.

Alguns trabalhos, apesar de não estarem relacionados com o tegumento das sementes de soja, mostram a importância das relações S/G. De acordo com Yoo et al. (2020), as unidades S e G se ligam covalentemente através de ligações carbono-carbono β - β , 5-5 e β -5, formando a espinha dorsal dos polímeros. A lignina rica em G é formada de ligações β -5 e 5-5/4-O- β , com maior grau de condensação estendendo a estruturas mais ramificadas, e a rica em S é composta principalmente de ligações β -O-4, com menor grau de condensação e complexidade estrutural (RALPH et al., 2019).

A cultivar BRS 523, foi a mais prejudicada com o aumento da dose de B, levando a uma maior relação S/G (0,43 $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$), ou seja, teores de S mais altos, resultando em uma lignina facilmente clivada devido a um menor grau de polimerização e, portanto, maior linearidade estrutural da lignina com menos reticulação (MENINO, et al., 2023), causando uma maior suscetibilidade de suas sementes a danos adversos.

Mesmo com esse aumento na relação S/G com a aplicação de B, a cultivar BRS 523 possui sementes que apresentam maior resistência quando comparada com a BRS 774 RR e a BRS 1003 IPRO, que obtiveram uma média de 0,55 $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ e 0,50 $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$, respectivamente, na dose de 8 mg kg⁻¹. Para as cultivares transgênicas, nota-se a influência do B voltada mais para os teores de G e S presentes na vagem, do que no tegumento das sementes de soja.

Menino et al. (2023), notou diferença na composição monomérica da lignina, de sementes de soja, entre a cultivar Doko (resistente a danos mecânicos) e Savana (suscetível a danos mecânicos), onde os teores de G e S foram inversos. A cultivar resistente apresentou baixa relação S/G (maior teor de G e menor S) e a susceptível alta relação S/G (menor teor de G e maior S).

Conclusões

A qualidade fisiológica de sementes, é sem dúvidas, um dos mais importantes aspectos a serem considerados visando a condução de lavouras tecnicamente bem instaladas e com elevado potencial produtivo, tendo a nutrição vegetal como um grande aliado. As doses de B não influenciaram o percentual de germinação das sementes nas 3 cultivares avaliadas. A cultivar BRS 774 RR apresentou o maior comprimento de plântulas com 4,91 cm. Em relação a lignina, a BRS 523 se destaca com teores de 4,76 e 12,1 mg g⁻¹ no tegumento e na vagem, respectivamente, sendo nas doses 2,0 e 4,0 mg kg⁻¹ de B as maiores concentrações dessa variável, independente da cultivar. Doses maiores de B influenciaram negativamente a relação S/G da cultivar BRS 523, aumentando também a relação na vagem para a BRS 774 RR e no tegumento para a BRS 1003 IPRO. O tegumento das sementes da BRS 523 quando comparado com as demais estudadas, apresenta maior teor de Guaiacil (G) e relação S/G menor, ou seja, maior resistência a danos adversos. A quantificação dos monômeros da lignina ainda é uma área pouco explorada, principalmente quando se fala de tegumentos e vagens de sementes de soja, havendo a necessidade de estudos complementares para corroborar com os resultados.

Agradecimentos

À CAPES pelo apoio na realização do experimento, à equipe de Fertilidade do solo e Microbiologia pelo experimento realizado em Londrina (PR) e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Referências

- ALLEN, S. E.; TERMAN, G. L.; CLEMENTS, L. B. Greenhouse techniques for soilplant-fertilizer research. Muscle Shoals, USA: **National Fertilizer Development Center**, 1976.
- BRASIL (Ministério da Agricultura e Reforma Agrária). Regras para análise de sementes. Brasília, DF, Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Departamento Nacional de Defesa Vegetal**. Coordenação de Laboratório Vegetal. 2009.
- CARVALHO, E. R.; OLIVEIRA, J. A.; CALDEIRA, C. M. Qualidade fisiológica de sementes de soja convencional e transgênica RR produzidas sob aplicação foliar de manganês. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 3, p. 219-228, 2014.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra brasileira 2024/2025**. Safra de Grãos, 4º Levantamento. CONAB, 2025.

COSTA, N. P.; MESQUITA, C. M.; MAURINA, A. C.; FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. Physical, physiological, and sanitary quality of soybean seed produced in Brazil. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, n. 1, p. 128–132, 2003.

DAN, E.L. et al. Transferência de matéria seca como modo de avaliação do vigor de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 9, n.3, p. 45-55, 1987.

DEL RÍO, J.C.; RENCORET, J.; GUTIÉRREZ, A.; ELDER, T.; KIM, H.; RALPH, J. Monômeros de lignina além da via biossintética canônica do monolignol: outro tijolo na parede. **Sustainable Chemistry and Engineering**, v.8, n.13, p.4997-5012, 2020. DOI: <<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c01109>>.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 1997. **Manual for Methods of Soil Analysis** [Manual de Métodos de Análise de Solo]. Rio de Janeiro, Brazil: Embrapa Solos.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Cultivares de soja – Centro sul do Brasil, Macrorregiões 1, 2, 3, RECs 401 e 402**. Londrina: Embrapa Soja, p.68, 2023.

FEHR, W. R., C. E. CAVINESS, D. T. BURMOOD, and J. S. PENNINGTON. 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science** 11 (6):929–931.

FENGEL, D., WEGENER, G. **Wood, chemistry, ultrastructure, reactions**. New York :Waster & Grugter, 1984. 613p.

FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 432 p, 2006.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. Estratégias do melhoramento para produção de sementes de soja no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS - MELHORAMENTO DE PLANTAS E PRODUÇÃO DE SEMENTES NO BRASIL, 7., 2003, Lavras. **Anais..** Lavras: UFLA, 2003. CD-ROM.

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A. A. A importância do uso de sementes de soja de alta qualidade. **Informativo ABRATES**, Londrina - PR, v. 20, n.1, p.37-38, 2010.

FRY, S. C. **The growing plant cell wall: chemical and metabolic analysis**. London: Longman Scientific and Technical, 1988. 246p.

FURLANI, A. M. C.; TANAKA, R. T.; TARALLO, M.; VERDIAL, M. F.; MASCARENHAS, H. A. A. Exigência a boro em cultivares de soja. **Revista Brasileira**

de Ciência do Solo, v. 25, n. 4, p. 929-937, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000400016>.

GUPTA, U. C. **Boron and its role in crop production**. Boca Raton: CRC Press, 1993. 250p.

HUTH, C. **Lignina no tegumento de semente de soja: deterioração por umidade e dano mecânico e tamanho de amostra para teste de tetrazólio**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Federal de Santa Maria (UFMS, RS). Santa Maria, 2015.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T. Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. **Ciência Rural**, v.35, n.6, p.1248-1256, 2005.

KRZYZANOWSKI, FC; FRANÇA-NETO, JB; HENNING, FA Importância do teor de lignina na parede da vagem e no tegumento da semente no desempenho fisiológico e sanitário da semente de soja. **Journal of Seed Science**, v.45, 2023.

LEITE, C. A. M.; FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; GOMES JÚNIOR, F. G. **Validação do sistema de análise de imagens Vigor-S para a determinação de fitotoxidades em plântulas de soja**. Londrina, Brazil: Embrapa Soja, 2019.

LYNCH, J. Root architecture and plant productivity. **Plant Physiology**, v. 109, n. 1, p. 7-13, 1995.

MADUREIRA, A. **Teor de lignina em sementes e legumes de soja: relação com a deterioração por umidade, deiscência e análise da expressão gênica**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006, 638 p.

MARCHIOSI, R.; SANTOS, W.D.; CONSTANTIN, R.P.; LIMA, R.B.; SOARES, A.R.; FINGER-TEIXEIRA, A.; MOTA, T.R.; OLIVEIRA, D.M.; FOLETTTO-FELIPE, M.P.; ABRAHÃO, J.; FERRARESE-FILHO, O. Biossíntese e ações metabólicas de ácidos fenólicos simples em plantas. **Phytochemistry Reviews**, v.19, p.865-906, 2020.

MARCOS FILHO, J. M. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba, v.12, FEALQ, 2005, 496 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Dordrechth: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MENINO, T. V. R.; JOIA, B. M.; ALMEIDA, A. M.; KRZYZANOWSKI, F. C.; MARCHIOSI, R.; FERRARESE-FILHO, O. Lignin monomeric composition in soybean seed coats and resistance to mechanical damage. **Journal of Seed Science**, v. 45, p. e202345035, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v45273211>.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K.; GARCIA Y GARCIA, A. Effect of liming on the nutritional conditions and yield of alfalfa grown in tropical conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, n. 8, p. 1107–1119, 2011.

MOREIRA-VILAR, F. C.; SIQUEIRA-SOARES, R. C.; FINGER-TEIXEIRA, A.; OLIVEIRA, D. M.; FERRO, A. P.; ROCHA, G. J.; FERRARESE, M. L. L. L.; SANTOS, W. D.; FERRARESE-FILHO, O. The acetyl bromide method is faster, simpler and presents best recovery of lignin in different herbaceous tissues than klason and tioglycolic acid methods. **Plos One**, v.9, p.1-7, 2014. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0110000>>.

PITTELKOW, F. K.; PASQUALLI, R. M. Importância da Qualidade das Sementes. **Boletim Técnico: Safra 2013/14**. Rio Verde, Brasil: Fundação Rio Verde, 2014.

RALPH, J.; LAPIERRE, C.; BOERJAN, W. **Lignin structure and its engineering. Current Opinion in Biotechnology**, v.56, p.240-249, 2019. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.02.019>>.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; CURTS, H. **Biologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1996. 728p.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biology of plants**. New York: Worth Publisher, 2001. 791p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2024). **R: A language and environment for statistical computing**, reference index version 4.4.2.

SANTOS, M. **Adubação foliar de boro em associação com cálcio na cultura da soja em sistema de plantio direto**. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Curitibanos. Curitibanos – SC, p. 30,2016.

SCALBERT, A.; MONTIES, B.; GUITTET, E.; LALLEMAND, J.Y. Comparison of Wheat Straw Lignin Preparations. **Chemical and Spectroscopic Characterizations**, v.40, p.119-127, 1986.

SILVA, R. C. D.; JUNIOR, G. S. S.; SILVA, C. S.; SANTOS, C. T.; PELÁ, A. Nutrição com boro na soja em função da disponibilidade de água no solo. **Scientia agraria**, v. 18, n. 4, p. 155-165, 2017.

TERASHIMA, N.; FUKUSHIMA, K. HE. L. F.; TAKABE, K. Comprehensive model of the lignified plant cell wall In: JUNG, H. G.; BUXTON, D. R.; HATFIELD, R. D.; RALPH, J. (Ed.). **Forage cell wall structure and digestibility**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1993. p. 247-270.

VANHOLME, R.; DEMEDTS, B.; MORREEL, K.; RALPH, J.; BOETRJAN, W. Lignin biosynthesis and structure. **Plant Physiology**, v.153, n.3, p.895-905. DOI: <<https://doi.org/10.1104/pp.110.155119>>.

WILSON, R.F. Seed composition. In: BOERMA, H.R.; SPECHT, J.E. (Ed.). **Soybeans: improvement, production and uses**. 3.ed. Madison: American Society of Agronomy:

Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 2004. p. 621-677.

WU, X.; RIAZ, M.; YAN, L.; DU, C.; LIU, Y.; JIANG, C. Boron deficiency in trifoliolate orange induces changes in pectin composition and architecture of components in root cell walls. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1882, 2017.

YOO, C.G.; MENG, X.; PU, Y.; RAGAUSKAS, A.J. The critical role of lignin in lignocellulosic biomass conversion and recent pretreatment strategies: A comprehensive review. **Bioresource Technology**, v.301, 122784, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122784>

Tabela 7. Médias de germinação, comprimento total (CT), do hipocótilo (CH) e das raízes (CR) de plântulas de três cultivares de soja em reposta a doses de B.

Doses de B (mg kg ⁻¹)	Germinação (%)	Comprimento total (cm)	Comprimento do hipocótilo (cm)	Comprimento de raiz (cm)
BRS 523				
0	96,0	4,22	1,97	2,25
2	99,0	3,77	1,85	1,91
4	99,0	3,80	1,84	1,96
8	98,0	4,25	2,06	2,18
MÉDIA	98,0 A	4,01 B	1,76 B	2,08 B
BRS 774 RR				
0	98,0	5,42	2,35	3,07
2	98,0	4,32	1,98	2,34
4	97,0	4,57	2,09	2,47
8	99,0	5,42	2,47	2,95
MÉDIA	98,0 A	4,91 A	2,21 A	2,70 A
BRS 1003 IPRO				
0	97,0	4,24	1,99	2,26
2	98,0	2,87	1,43	1,43
4	98,0	3,38	1,66	1,71
8	99,0	4,12	1,94	2,17
MÉDIA	98,0 A	3,65 C	1,76 C	1,90 C
Teste F				
Cultivar (A)	0,51 ^{NS}	67,053*	50,528*	61,618*
Dose (B)	1,2 ^{NS}	27,628*	24,667*	23,240*
A X B	0,72 ^{NS}	2,531*	2,949*	1,844 ^{NS}
CV (%)	10,41	9,16	7,96	11,69

* e NS significativo e não significativo a 5% de probabilidade. CV, coeficiente de variação.

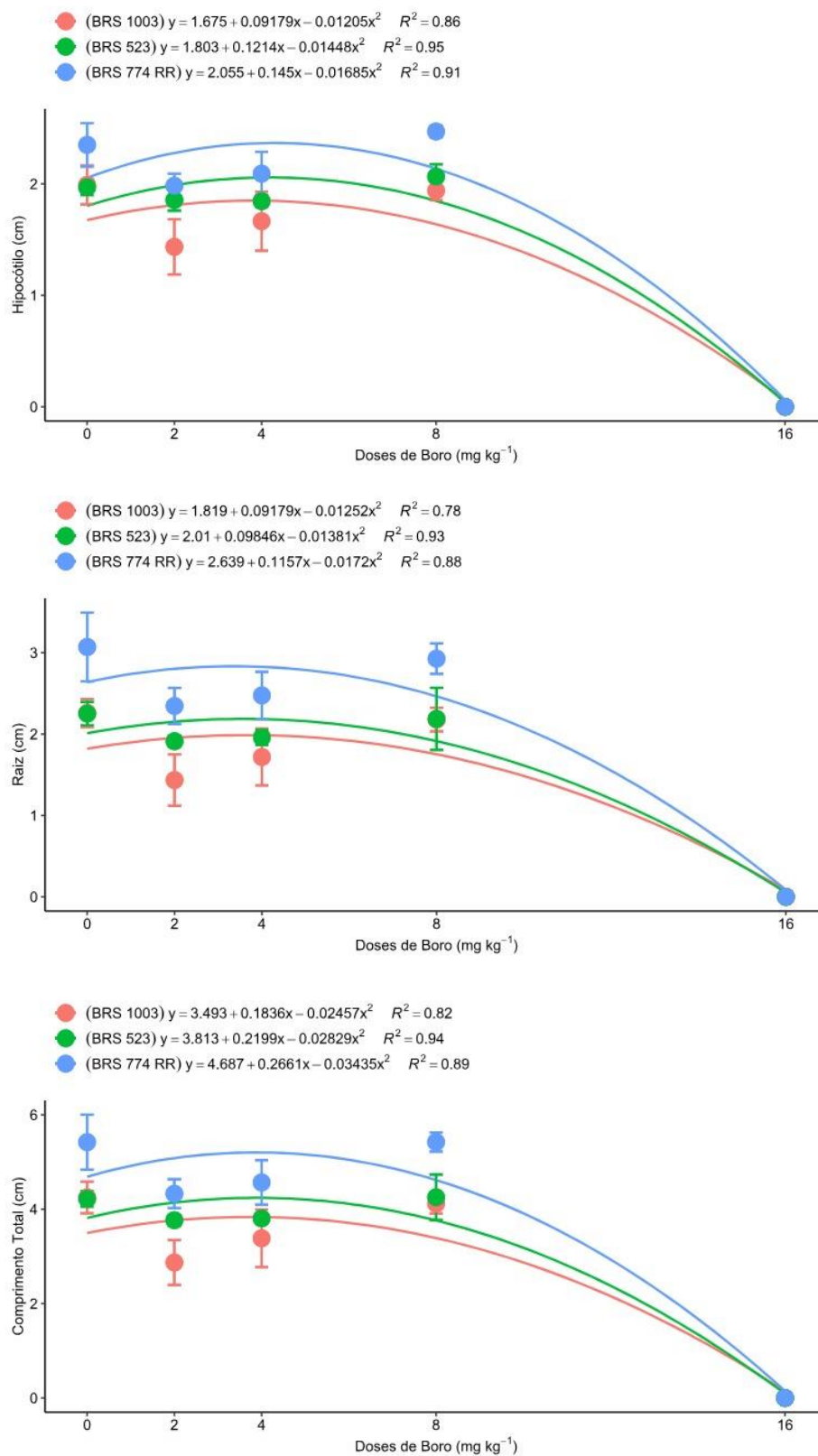


Gráfico 4. Correlação hipocótilo, raiz e comprimento total das plântulas das cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO de acordo com doses de B.

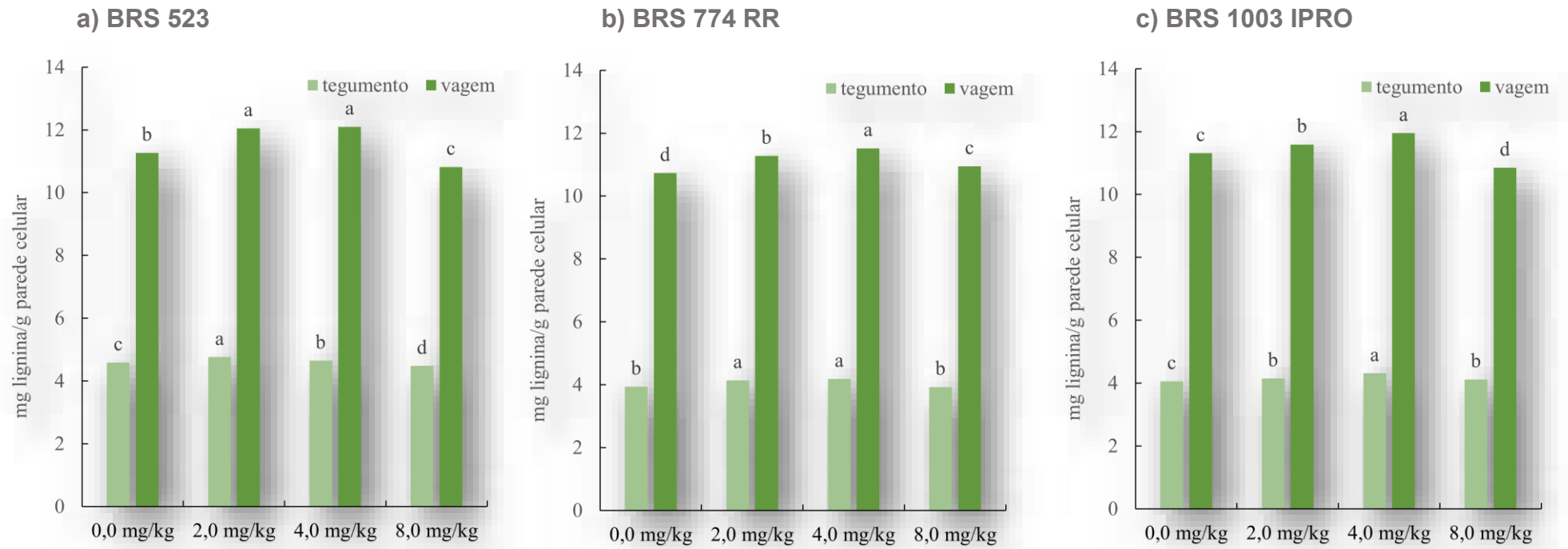


Gráfico 5. Teor de lignina na vagem e no tegumento das cultivares BRS 523 (a), BRS 774 RR (b) e BRS 1003 IPRO (c) em resposta a doses de B

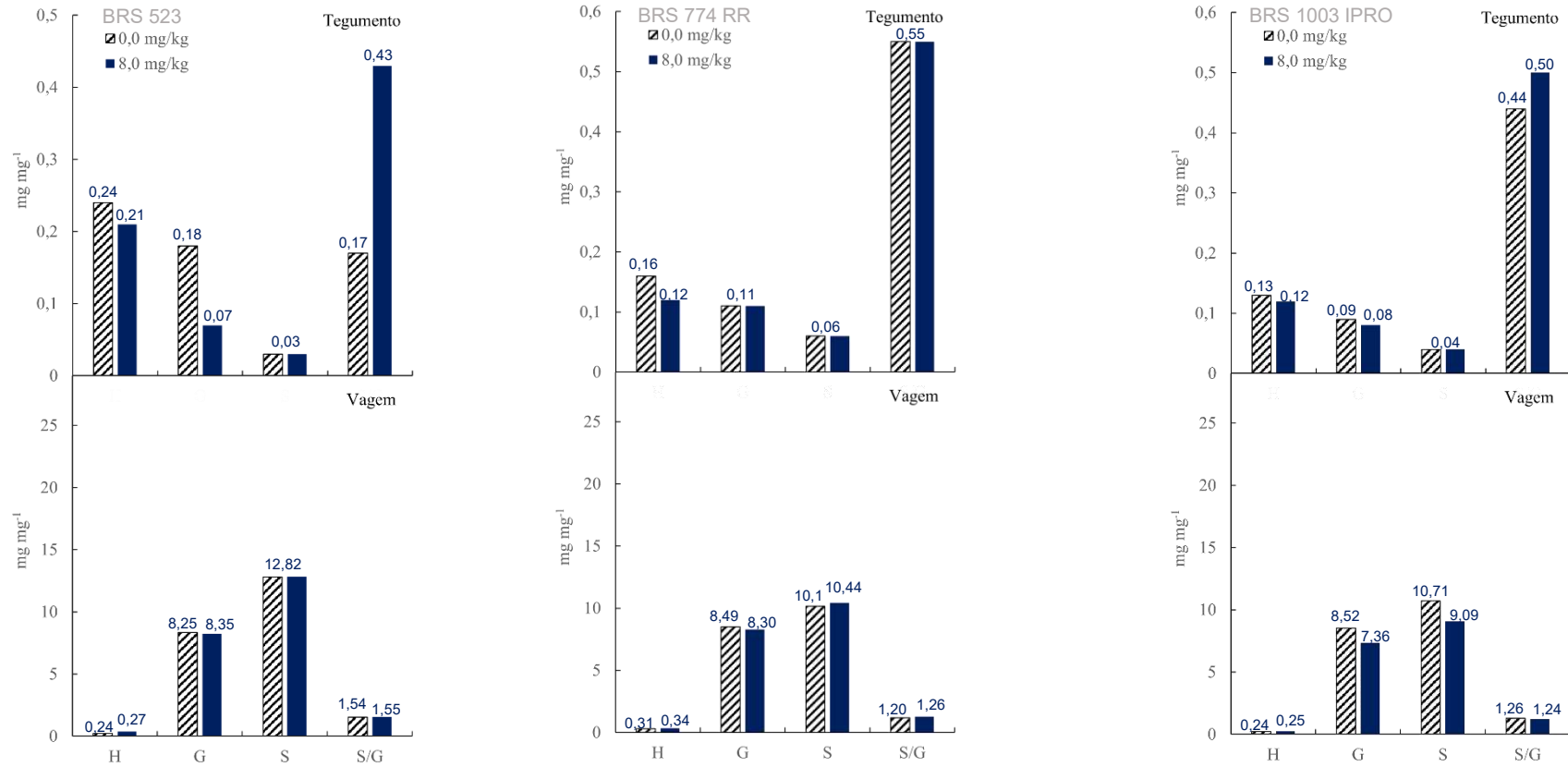


Gráfico 6. Teores de Hidroxifenil (H), Guaiacil (G), Siringil (S), e relação S/G na composição da lignina presente no tegumento e na vagem das cultivares BRS 523, BRS 774 RR e BRS 1003 IPRO nas doses de 0 e 8 mg kg⁻¹ de B.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIOVE (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS). **Cadeia da soja e do biodiesel representou 27% do PIB do agronegócio e gerou 2 milhões de empregos em 2022**. 2023. Disponível em: <<https://abiove.org.br/>> Acesso: 05 maio 2024.
- ADAMA. **Guia completo sobre a cultura da soja**. 2022. Disponível em: <<https://portaladama.com/guia-cultura-da-soja/>>. Acesso em: 05 maio 2024.
- AGROADVANCE. **Fenologia da soja aplicada no dia a dia**. 2024. Disponível em: <<https://agroadvance.com.br/blog-fenologia-da-soja/>>. Acesso em: 06 set 2024.
- ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell and Environment**, 24:1337–1344, 2001.
- ALLEN, S. E.; TERMAN, G. L.; CLEMENTS, L. B. Greenhouse techniques for soilplant-fertilizer research. Muscle Shoals, USA: **National Fertilizer Development Center**, 1976.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- ANDERSON, M. D.; PRASAD, T. K.; STEWART, C. R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings. **Plant Physiology**, 109:1247–1257, 1995.
- AOSA (Association of Official Seed Analysts). **Seed vigor testing handbook**. Lincoln: AOSA, Contribution, 2002.
- APROSOJA (Associação Brasileira Dos Produtores De Soja). **A Soja**. 2023. Disponível em: <<https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/>>. Acesso: 05 maio 2024.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: Análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, p. 1075-1084, 2001.
- AZADI, P. et al. Liquid fuels, hydrogen and chemicals from lignin: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 506–523, 2013.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; HIRAKURI, M. H.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; RIBEIRO, R. H. **Análise da área, produção e produtividade da soja no Brasil em duas décadas (1997-2016)**, Londrina: Embrapa, 2017.
- BANCI, L. 1997. Structural properties of peroxidases. **J. Biotechnol.** 53: 253- 263
- BARRETTO, V. C. M.; VALERI, S. V.; SILVEIRA, R. L. V. A; TAKAHASHI, E. N. Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vasos. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**. Piracicaba n.76, p.21-33, 2007.
- BERNARD, R. L. Two genes affecting stem terminaton in soybean. **Crop Science**, v. 12, p. 235-239, 1972.

BEVILAQUA, G. A. P.; SILVA FILHO, P. M.; POSSENTI, J. C. Aplicação foliar de cálcio e boro e componentes de rendimento e qualidade de sementes de soja. **Ciência Rural**, v.32, p.31-34, 2002.

BHATTACHARJEE, S. Sítios de geração e base físico-química da formação de espécies reativas de oxigênio em células vegetais. In: **Espécies reativas de oxigênio e antioxidantes em plantas superiores**. CRC Press, 2010. p. 1-30.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, 72:248–254, 1976.

BRASIL - Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Defesa Vegetal. Coordenação de Laboratório Vegetal. 2009.

BRDAR-JOKANOVIĆ, M. Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 4, p. 1424, 2020.

BRIM, C.A.; BURTON, J.W. Recurrent selection in soybeans II. Selection for increased percent protein in seeds. **Crop Science**, v.19, p.494-498, 1979.

BROETTO, F. **Métodos de trabalho em bioquímica vegetal e tecnologia de enzimas**. São Paulo:UNESP, 2014. 92p.

BROWN, P. H.; HU, H. Phloem mobility of boron is species dependent: evidence for phloem mobility in sorbitol rich species. **Annals of Botany**, v. 77, n. 5, p. 497–505, 1996.

BROWN, P.H.; SHELPS, B. J. Boron mobility in plants. **Plant and Soil**, v. 193, n. 1, p. 85–101, 1997.

BROWN, P.H.; BELLALLOUI, N.; WIMMER, M. A.; BASSIL, E. S.; RUIZ, J.; HU, H.; PFEFFER, H.; DANIEL, F.; RÖMHELD, V. Boron in plant biology. **Plant Biology**, v. 4, n. 2, p. 205–223, 2002.

BRZEZINSKI, C.R.; ABATI, J.; ZUCARELLI, C.; MEDRI, C.; MERTZ-HENNING, L.M.; KRZYŻANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; HENNING, F.A. Structural analysis of soybean pods and seeds subjected to weathering deterioration in pre-harvest. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, e02697, 2022.

BURTON, J.W.; WILSON, R. F.; BRIM, C.A.; RINNE, R.W. Registration of soybean germplasm lines with modified fatty acid composition of seed oil. **Crop Science**, v. 29, p. 1583, 1989.

BUZATTO, J.V.L. **Efeito da aplicação de boro na nutrição e na produtividade da soja**. Trabalho de conclusão de curso. UFMS.2023.

CAKMAK, I.; KURZ, H.; MARSCHNER, H. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. **Physiologia Plantarum**, v. 95, n. 1, p. 11-18, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1995.tb00801.x>

CANTERI, M. G.; ALTHAUS, R. A.; VIRGENS FILHO, J. S.; GIGLIOTI, E. A.; GODOY, C. V. SASM - Agri: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v.1, n.2, p.18-24. 2001.

CARDOSO, R.B.; BINOTI, F.F.S.; CARDOSO, E.D. Potencial fisiológico de sementes de crambe em função das embalagens e armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n.3, p.272-278, 2012.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424p.

CARVALHO, E. R.; OLIVEIRA, J. A.; CALDEIRA, C. M. Qualidade fisiológica de sementes de soja convencional e transgênica RR produzidas sob aplicação foliar de manganês. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 3, p. 219-228, 2014.

CASTRO, E. M. **Teor de lignina e qualidade de sementes de soja em relação ao retardamento da colheita**. 2015. 86p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras.

CERUTTI, P. H.; WILLE, C. L. Adubação foliar com boro em sistema de plantio direto na cultura da soja. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 1, p. 1-11, 2019.

CHEN, H.; LIU, J.; CHANG, X.; CHEN, D.; XUE, Y.; LIU, P.; LIN, H.; HAN, S. **A review on the pretreatment of lignocellulose for high-value chemicals**. *Fuels Processing Technology*, [s. l.], v. 160, p. 196-206, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra brasileira 2024/2025**. Safra de Grãos, 4º Levantamento. CONAB, 2025.

CONAB (Companhia Nacional De Abastecimento). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. 11º Levantamento safra 2023/24**. Brasília, Brazil: CONAB, 2024a

CONAB (Companhia Nacional De Abastecimento). **AgroConab**, Brasília, DF, v. 4, n.8. 2024b.

CONAB (Companhia Nacional De Abastecimento). **Preços de mercado**. Disponível em: <<https://sisdep.conab.gov.br/precosiagroweb/>>. Acesso em: 05 jun. 2024c.

COSTA, N. P.; MESQUITA, C. M.; MAURINA, A. C.; FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. Physical, physiological, and sanitary quality of soybean seed produced in Brazil. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, n. 1, p. 128–132, 2003.

DAN, E.L. et al. Transferência de matéria seca como modo de avaliação do vigor de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 9, n.3, p. 45-55, 1987.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In:

DELAPLANE, K. S.; MAYER, D. F. 2000. **Crop pollination by bees**. New York: CABI Publishing, p. 344.

DEL RÍO, J.C.; RENCORET, J.; GUTIÉRREZ, A.; ELDER, T.; KIM, H.; RALPH, J. Monômeros de lignina além da via biossintética canônica do monolignol: outro tijolo na parede. **Sustainable Chemistry and Engineering**, v.8, n.13, p.4997-5012, 2020.

D'UTRA, G. Soja. **Jornal do Agricultor**, v.4, n.168, p.185-186, 1882.

EMBRAPA (Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária). 1997. **Manual for Methods of Soil Analysis** [Manual de Métodos de Análise de Solo]. Rio de Janeiro, Brazil: Embrapa Solos, 1997.

EMBRAPA (Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária). **Tecnologia de produção de soja-região central do Brasil-2009 e 2010**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrado: Embrapa Agropecuária Oeste, p. 262, 2009a.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Cultivo de Soja no Cerrado de Roraima**. Londrina: Embrapa Soja, 2009b.

EMBRAPA (Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária). **Comunicado sobre apodrecimento de vagens de soja na safra 2020/21**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Agrossilvipastoril, 2021.

EMBRAPA. **Micronutrientes**. 2009. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_20_23720_0483743.html>. Acesso em 10 de janeiro 2025.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Cultivares de soja – Centro sul do Brasil, Macrorregiões 1, 2, 3, RECs 401 e 402**. Londrina: Embrapa Soja, p.68, 2023.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and Mineral Nutrition of Field Crops**. Madison, USA: Marcel Dekker, 1997.

FAGERIA, N. K. **The Use of Nutrients in Crop Plants**. Boca Raton, USA: CRC Press, 2009.

FANCELLI, A. L. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes na cultura de milho**. Informações Agronômicas, n. 131, p. 1-16, 2010. Acesso em: 22 jan. 2025.

FAVARIN, J.L.; MARINI, J.P. **Importância dos micronutrientes para a produção de grãos**. In: SOCIEDADE NACIONAL DA AGRICULTURA, 2000. Disponível em: <www.sna.com.br>. Acesso em: 15 jul. 2022.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E.; BURMOOD, D. T.; PENNINGTON, J. S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, v. 11, n. 6, p. 929–931, 1971.

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

FEIERABEND, J. 2005. Catalases in plants: molecular and functional properties and role in stress defense. IN: Antioxidants and reactive oxygen species in plant (Smirnoff, N. ed). **Editora Blackwell Publishing**. p. 101- 130.

FENGEL, D., WEGENER, G. **Wood, chemistry, ultrastructure, reactions**. New York :Waster & Grugter, 1984. 613p.

FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 432 p, 2006.

FPA (Frente Parlamentar Da Agropecuária). **Importância da Soja para o Brasil**. 2021. Disponível em: <<https://fpagropecuaria.org.br/>>. Acesso em: 05 maio 2024.

FRANÇA-NETO, J. B. **O teste de tetrazólio em sementes de soja**. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. de. Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: FUNEP, p.87-102, 1994.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C; WEST, S.; HENNING, A.; COSTA, N. Determinação do conteúdo de lignina nos tegumentos de sementes de soja com tegumento preto e amarelo. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL. **Anais...** Londrina: EMBRAPA Soja, v. 21. p. 247, 1999. (EMBRAPA Agropecuária Oeste. Documentos, 7; EMBRAPA Soja. Documentos, 134).

FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; COSTA, N. P. **Tecnologia de produção de sementes**. In: A cultura da soja no Brasil. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 2000.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. Estratégias do melhoramento para produção de sementes de soja no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS - MELHORAMENTO DE PLANTAS E PRODUÇÃO DE SEMENTES NO BRASIL, 7., 2003, Lavras. **Anais..** Lavras: UFLA, 2003. CD-ROM.

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A. A. A importância do uso de sementes de soja de alta qualidade. **Informativo ABRATES**, Londrina - PR, v. 20, n.1, p.37-38, 2010.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A.; PÁDUA, G.P.; LORINI, I.; HENNING, F.A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 82p. (Embrapa Soja.Documentos, 380).

FRANÇA-NETO, J.B.; KRYZANOWSKI, F.C. **Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2018a. 108p.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Semente é tecnologia**. O Vigor e o Desempenho das Sementes, Associação Brasileira de Sementes e Mudas, p. 26-30, 2018b.

FRANÇA-NETO, J. B; KRZYZANOWSKI, F. C.; PÁDUA, G. P.; LORINI, I. **Características fisiológicas da semente: vigor, viabilidade, germinação, danos mecânicos tetrazólio, deterioração por umidade tetrazólio, dano por percevejo tetrazólio e sementes verdes**. In: Qualidade de sementes e grãos comerciais de soja no Brasil-safra 2016/17. Londrina: Embrapa Soja, Documento 403, p.31-59. 2018c.

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. Tetrazolium: an important test for physiological seed quality evaluation. **Journal of Seed Science**, v.41, p.359-366, 2019.

FRITSCHI, F.B.; RAY, D.J., Soybean leaf nitrogen, chlorophyll content, and chlorophyll a/b ratio. **Photosynthetica**, v.45; n.1; p.92-98, 2007.

FRY, S. C. **The growing plant cell wall: chemical and metabolic analysis**. London: Longman Scientific and Technical, 1988. 246p

FUNDAÇÃO MERIDIONAL. **Fundação meridional de apoio a pesquisa agropecuária**. 2017. Disponível em: <<http://www.fundacaomeridional.com.br/soja/historico>>. Acesso em: 11 jul. 2022.

FURLANI, A. M. C.; TANAKA, R. T.; TARALLO, M.; VERDIAL, M. F.; MASCARENHAS, H. A. A. Exigência a boro em cultivares de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 4, p. 929-937, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000400016>.

GAZZONI, D. L. **Soja e abelhas**. Embrapa Soja. Londrina – PR, p.152, 2017.

GOMES JUNIOR, F. G.; CHAMMA, H. M. C. P. Eficiência de um sistema computadorizado de processamento de imagens para avaliação do vigor de sementes de feijão. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2008, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, p. 685-688, 2008.

GOMES, I.S.; BENETT, C.G.S.; SILVA JUNIOR, R.L.; XAVIER, R.C.; BENETT, K.S.S.; SILVA, A.R.; CONEGLIAN, A. Boron fertilisation at different phenological stages of soybean. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 8, p. 1026-1032, 2017.

GRATÃO, P. L.; CARVALHO, R. F.; MONTEIRO, C. C. **Protocolos para avaliação do estresse oxidativo em plantas**. Laboratório de Fisiologia de Plantas – UNESP/Jaboticabal, 2014. 42p.

GRATTAN, S. R.; DÍAZ, F. J.; PEDRERO, F.; VIVALDI, G. A. Assessing the suitability of saline wastewaters for irrigation of Citrus spp.: emphasis on boron and specific-ion interactions. **Agricultural Water Management**, v. 157, p. 48–58, 2015.

GUBIANI, E. I. **Crescimento e rendimento da soja em resposta a épocas de semeadura e arranjo de plantas**. 2005. 77p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GUPTA, U. C. **Boron and its role in crop production**. Boca Raton: CRC Press, 1993. 250p.

GUPTA, A. S., WEBB, R. P., HOLADAY, A. S. & ALLEN, R. D. 1993. Overexpression of superoxide dismutase protects plants from oxidative stress. **Plant Physiol**. 103: 1067-1073.

GUZATTI, N. C.; FRANCO, C. Custo de produção e rentabilidade para cultura da soja

nas variedades convencional e transgênica em Mato Grosso. **Revista UNEMAT de Contabilidade**. Tangará da Serra – MT, v. 4, n. 8, 2015.

HARTWIG, E.E.; HINSON, K. Association between chemical composition of seed and seed yield of soybeans. **Crop Science**, v.12, p.829-830, 1972.

HELMS, T.C.; ORF, J.H. Protein, oil, and yield in soybean lines selected for increased protein. **Crop Science**, v.38, p.707-711, 1998.

HENNING, A. A. **Patologia e tratamento de sementes: Noções Gerais**. 2005. Londrina: Embrapa Soja, ed.2, p.52, 2005. (Embrapa Soja. Documentos, 264). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/469530/1/documento264.pdf>>

HENNING, F. A.; MERTZ, L. M.; JACOB JUNIOR, E. A.; MACHADO, R. D.; FISS, G.; ZIMMER, P. D. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 727-734, 2010.

HENNING, F. A.; MERTZ, L. M.; JACOB JUNIOR, E. A.; MACHADO, R. D.; FISS, A.; HIRAKURI, M. H.; LORINI, I. **Conjuntura econômica da soja e metodologia de avaliação da qualidade**. Londrina, Brasil: Embrapa Soja, 2018.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, Londrina/PR. Documentos 349, p. 70. 2014.

HIRAKURI, M. H.; LORINI, I. **Conjuntura econômica da soja e metodologia de avaliação da qualidade**. *In*: Qualidade de sementes e grãos comerciais de soja no Brasil safra 2017/18. Londrina: Embrapa Soja, Documento 422, p.11-29. 2019

HU, H.; PENN, S. G.; LEBRILLA, C. B.; BROWN, P. H. Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants: the mechanism of phloem mobility of boron. **Plant Physiology**, v. 113, n. 2, p. 649–655, 1997.

HULL, R.J. Recent research offers clues to boron's purpose. **Turfgrass Trends**, v. 11, p. 11-16, 2002.

HUTH, C. **Lignina no tegumento de semente de soja: deterioração por umidade e dano mecânico e tamanho de amostra para o teste de tetrazólio**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 96p. 2015. Dissertação de Mestrado.

INOUE, L. **Cultura da soja: sua importância na atualidade**. 2019. Disponível em: <<https://blog.agromove.com.br/cultura-soja-importancia-na-atualidade/>>. Acesso em: 28 ago. 2024.

ISTA - INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. **Addition of a new vigour method approved by ECOM decision**. Minutes of the Ordinary Meeting, n. 648, p.81–84, 2011.

JOÃO, A. M. **Otimização da logística de soja e milho no Brasil: aplicações de programação linear e programação inteira mista**. 2021. 216 f. Dissertação de

Mestrado. Universidade de São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3148/tde-08112021-101717/publico/AbnerMatheusJoaoCorr21.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

KLIMACZEWSKI, C. V.; FOLLMANN, D. N.; ZANON, A. J.; SANTOS, E. D.; ROSA, G. B.; PEREIRA, A. C.; SCHLÖSSER, O. D.; FERREIRA, J. C.; SANTOS, T. M.; MÜLLER, E. Desempenho agrônomico de soja associado à adubação complementar de base. **Revista Delos**, v.17, n.60, p. e2363, 2024. DOI: 10.55905/rdelosv17.n60-122. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/2363>. Acesso em: 27 jan. 2025.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; ANDRADE, A. S.; ANZALDO, J. H. **Química da Madeira**. 3. ed. Curitiba: FUPEF, 2005.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T. Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. **Ciência Rural**, v.35, n.6, p.1248-1256, 2005.

KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina, Brasil: ABRATES, 2018.

KRZYZANOWSKI, FC; FRANÇA-NETO, JB; HENNING, FA Importância do teor de lignina na parede da vagem e no tegumento da semente no desempenho fisiológico e sanitário da semente de soja. **Journal of Seed Science**, v.45, 2023.

LANA, R. M. Q.; QUEIROZ, I. D.; TORRES, J. L. R.; FERREIRA, A. D. S.; FARIA, M. V.; SIQUEIRA, T. P. (2017). Associação entre doses de nitrogênio e inoculação das sementes com bactéria diazotrófica no Milho. **Revista de la Facultad de Agronomía**, 116.

LAURICHESSE, S.; AVÉROUS, L. Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers. **Progress in Polymer Science**, v. 39, n. 7, p. 1266–1290, 2014.

LEITE, C. A. M.; FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; GOMES JÚNIOR, F. G. **Validação do sistema de análise de imagens Vigor-S para a determinação de fitotoxidades em plântulas de soja**. Londrina, Brazil: Embrapa Soja, 2019.

LEONARDI, M. **Estabelecimento inicial e produtividade da canola sobressemeada a soja e seus entraves em clima subtropical**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/29550>. Acesso em: 30 de janeiro de 2025.

LEWIS, D.H. Are there interrelations between the metabolic role of boron synthesis of phenolic phytoalexins and the germination of pollen. **New Phytologist**, v.84, p.261-270, 1980.

LOUÉ, A. **Oligo-éléments en agriculture**. Antibes: Nathan, 1993. 557 p.

LYNCH, J. Root architecture and plant productivity. **Plant Physiology**, v. 109, n. 1, p. 7-13, 1995.

MADUREIRA, Alana. **Teor de lignina em sementes e legumes de soja: relação com a deterioração por umidade, deiscência e análise da expressão gênica**. 102

f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Evaluation of Nutritional Status of Plants: principles and applications** [Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações]. Piracicaba, Brazil: Potafos, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, E.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 200 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MARCHIOSI, R.; SANTOS, WD; CONSTANTIN, RP; LIMA, RB; SOARES, AR; FINGER-TEIXEIRA, A.; MOTA, TR; OLIVEIRA, DM; FOLETTTO-FELIPE, MP; ABRAHÃO, J.; FERRARESE-FILHO, O. Biossíntese e ações metabólicas de ácidos fenólicos simples em plantas. **Revisões de Fitoquímica**, v.19, p.865–906, 2020.

MARCOS FILHO, J. M. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba, v.12, FEALQ, 2005, 496 p.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes – ABRATES. 2.ed. Londrina-PR, p. 659, 2015.

MARSCHNER, P. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London, UK: Academic Press, 2012.

MARCHIOSI, R.; SANTOS, W.D.; CONSTANTIN, R.P.; LIMA, R.B.; SOARES, A.R.; FINGER-TEIXEIRA, A.; MOTA, T.R.; OLIVEIRA, D.M.; FOLETTTO-FELIPE, M.P.; ABRAHÃO, J.; FERRARESE-FILHO, O. Biossíntese e ações metabólicas de ácidos fenólicos simples em plantas. **Phytochemistry Reviews**, v.19, p.865-906, 2020.

MASCARENHAS, H. A. A; TANAKA, R. T.; WUTKE, E. B.; KIKUTI, H. Nitrogênio: a soja aduba a lavoura da cana. **O Agrônomo**. Campinas, v.1, n.57, 2005.

MATTIELLO, E. M. et al. Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1281-1290, 2009.

MCCARTHY, J. L.; ISLAM, A. **Química, tecnologia e utilização da lignina: uma breve história**. In: GLASSER, W. G.; NORTHEY, R. A.; SCHULTZ, T. P. (Eds.). Lignina: perspectivas históricas, biológicas e materiais. Washington DC: ACS, 1999. p.2-99

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Dordrechth: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MENINO, T. V. R.; JOIA, B. M.; ALMEIDA, A. M.; KRZYZANOWSKI, F. C.; MARCHIOSI, R.; FERRARESE-FILHO, O. Lignin monomeric composition in soybean seed coats and resistance to mechanical damage. **Journal of Seed Science**, v. 45, p. e202345035, 2023. DOI: <<https://doi.org/10.1590/2317-1545v45273211>>.

MITTLER, Ron. Estresse oxidativo, antioxidantes e tolerância ao estresse. **Tendências em ciência vegetal**, v. 7, n. 9, p. 405-410, 2002.

MOLLER, M. R. F.; VIÉGAS, I. J. M.; MATOS, A. D. O.; PARRY, M. M. **Análises de tecido vegetal**: manual de laboratório. Belém, Brasil: Embrapa Amazônia Oriental, 1997.

MOREANO, T. B.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARQUES, O. J. **Evolução da deterioração por umidade e danos mecânicos durante o armazenamento de semente de soja**. In: Embrapa Soja Resumo em anais de congresso (ALICE). Informativo ABRATES, Londrina, v. 21, n. 2, ago. 2011. CD-ROM. Edição dos Anais do XVII Congresso Brasileiro de Sementes., Natal, ago., 2011.

MOREIRA, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A. Yield, boron concentration and evaluation of extractants in soils cultivated with soybean. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 367–373, 2010.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K.; GARCIA Y GARCIA, A. Effect of liming on the nutritional conditions and yield of alfalfa grown in tropical conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, n. 8, p. 1107–1119, 2011.

MOREIRA-VILAR, F. C.; SIQUEIRA-SOARES, R. C.; FINGER-TEIXEIRA, A.; OLIVEIRA, D. M.; FERRO, A. P.; ROCHA, G. J.; FERRARESE, M. L. L.; SANTOS, W. D.; FERRARESE-FILHO, O. The acetyl bromide method is faster, simpler and presents best recovery of lignin in different herbaceous tissues than klason and tioglycolic acid methods. **Plos One**, v.9, p.1-7, 2014. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0110000>>.

MOURA, M. M.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. D. S.; CRUZ, C. D. (2013). Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 48, 417-425.

MULLER, L. Morfologia, anatomia e desenvolvimento. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. (Eds). **A soja no Brasil**. 1 ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, p. 65-104, 1981.

NABLE, R. O. Effects of B toxicity amongst several barley wheat cultivars: a preliminary examination of the resistance mechanism. **Plant and Soil**, v. 112, n. 1, p. 45–52, 1988.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p.2.1-2.24.

NETO, J. D. S. **Estudo da interação genótipo X ambiente e validação de marcadores microssatélite associados a QLTs para conteúdo de óleo e proteína em soja**. 73 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS; J. R. B.; OYA, T. **Estádios de desenvolvimento da cultura de soja**. 2000. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/456809/1/ID-12906.pdf>>.

Acesso em: 10 jul. 2024.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. Atlas climático do estado do Paraná. Londrina, PR: **Instituto Agrônomo do Paraná**, 2019.

NOCTOR, G.; FOYER, C. H. 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. Annu. **Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.** 49: 249-279.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L (eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 91-132, 2007.

NUNES, C. A. **Tratamento de sementes de soja com produtos à base de fertilizantes e biofertilizantes**. 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

NUNES, J. L. S. **Características da soja**. 2020. Disponível em: <<https://www.agrolink.com.br/culturas/soja/informacoes/caracteristicas/>>. Acesso em: 28 ago. 2024.

NUTRIÇÃO DE PLANTAS CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Como a planta de soja se desenvolve**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Disponível em: <[https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3140/\\$File/Como%20a%20Planta%20da%20Soja%20Desenvolve.pdf](https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3140/$File/Como%20a%20Planta%20da%20Soja%20Desenvolve.pdf)>. Acesso em: 02 set. 2024.

OLIVEIRA, A. M. G.; NATALE, W.; ROSA, R. C. C.; JUNGHANS, D. T. (2015). Aducação NK no abacaxizeiro 'BRS Imperial'-I-efeito no desenvolvimento e na floração da planta. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 37(3), 755-763.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; CASAGRANDE, A. A. **Cana-de-açúcar**. In: FERREIRA M.E. et al. (Ed). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq; Fapesp; Potafos: 355-368, 2001.

PANDEY, J.P.; TORRIE, J.H. Path coefficient analysis of seed yield components in soybean (*Glycine max* L. Merrill). **Crop Science**, v.3, n.5, p. 505-507, 1973.

PANOZZO, L. E.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T.; MIELEZRSKI, F.; PESKE, F. B. Comportamento de plantas de soja originadas de sementes de diferentes níveis de qualidade fisiológica. **Revista da FVZA**, Uruguaiiana, v. 16, n. 1, p. 32-41. 2009.

PÍPOLO, A. E.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; JUNIOR, A. S. B.; DEBIASI, H.; MANDARINO, J. M. G. **Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria**. Londrina, PR, EMBRAPA, 2015.

PITTELKOW, F. K.; PASQUALLI, R. M. Importância da Qualidade das Sementes. **Boletim Técnico: Safra 2013/14**. Rio Verde, Brasil: Fundação Rio Verde, 2014.

POLLE, A.; SEIFERT, F. Peroxidases apoplásticas e lignificação em agulhas de abeto da Noruega (*Picea abies* L.). **Plant Physiology**, v.106, p.53-60, 1994

POSS, J. A.; GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M.; SHANNON, M. C. Characterization of leaf boron injury in salt-stressed Eucalyptus by image analysis. **Plant and Soil**, v. 206, n. 2, p. 237–245, 1999.

QUAGGIO, J. A.; PIZA JR., C. T. Frutíferas tropicais. In: FERREIRA, M. E. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFÓS, 2001. p. 458-491.

RAGAUSKAS, A. J., BECKHAM, G. T., BIDDY, M. J., CHANDRA, R., CHEN, F., DAVIS, M. F., LANGAN, P. Lignin valorization: improving lignin processing in the biorefinery. **Science**, v. 344, p. 709-719, 2014.

RAIMUNDI, D. L.; MOREIRA, G. C.; TURRI, L. T. Modos de aplicação de boro na cultura da soja. **Cultivando o Saber**, v. 6, n. 2, p.112-121, 2013.

RALPH, J.; LAPIERRE, C.; BOERJAN, W. **Lignin structure and its engineering. Current Opinion in Biotechnology**, v.56, p.240-249, 2019. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.02.019>>.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; CURTS, H. **Biologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1996. 728p.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biology of plants**. New York: Worth Publisher, 2001. 791p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**, reference index version 4.4.2. 2024.

RERKASEM, B.; BELL, R. W.; LODKAEW, S. & LONERAGAN, J.F. Relationship of seed boron concentration to germination and growth of soybean (*Glycine max*). **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 48, n. 3, p. 217-223, 1997.

RIAZ, M.; YAN, L.; WU, X.; HUSSAIN, S.; AZIZ, O.; WANG, Y.; IMRAM, M.; JIANG, C. Boron alleviates the aluminum toxicity in trifoliolate Orange by regulating antioxidant defense system and reducing root cell injury. **Journal of Environmental Management**, v. 208, p. 149-158, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.008>.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G. O. **Como a planta de soja se desenvolve**. Piracicaba: POTAFÓS, p. 20, 1994.

ROCHA, A. A. **Sojicultor de Mato Grosso esvazia o bolso para financiar safra 2008/09**. Valor Econômico, Agronegócio, 2009.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUZ, J. S. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 431-437, 2001.

RODRIGUES, R. A. **Soja (*Glycine máx.*): Morfologia e Fisiologia**. 2016. Disponível em: < <https://pt.slideshare.net/slideshow/morfologia-e-fenologia-da-cultura-da-soja/68243261>>. Acesso em: 05 maio 2024.

ROSOLEM, C. A.; BOARETTO, A. E. A adubação foliar em soja. In: BOARETTO, A. E.; ROSOLEM, C. A. **Adubação foliar**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1989. p. 500

ROSOLEM, C. A. Produtividade máxima da soja. **Boletim de Pesquisa de Soja**. Rondonópolis: Fundação MT, p. 237-244, 2007.

SACHETO, T. **Caracterização da curva de crescimento, desenvolvimento e marcha de absorção de nutrientes da cultura de soja**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SANTINI, J.M.K et al. **Adubação boratada na cultura da soja em área de cerrado**. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015, Natal -RN.

SANTOS, E. A. D. **Influencia da aplicação foliar de cálcio e boro em pré e pós-floração sobre os componentes de produção e na produtividade da soja**. 2013. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Do Piauí, Teresina.

SANTOS, M. **Adubação foliar de boro em associação com cálcio na cultura da soja em sistema de plantio direto**. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Curitibanos. Curitibanos – SC, p. 30, 2016.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F.; et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa, 2018.

SCALBERT, A.; MONTIES, B.; GUITTET, E.; LALLEMAND, J.Y. Comparison of Wheat Straw Lignin Preparations. **Chemical and Spectroscopic Characterizations**, v.40, p.119-127, 1986.

SCHUCH, L. O. B.; KOLCHINSKI, E. M.; FINATTO, J. A. Qualidade fisiológica da semente e desempenho de plantas isoladas em soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, p. 144-149, 2009.

SHIREEN, F.; NAWAZ, M. A.; CHEN, C.; ZHANG, Q.; ZHENG, Z.; SOHAIL, H.; SUN, J.; CAO, H.; HUANG, Y.; BIE, Z. Boron: Functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 7, p. 1856, 2018.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Boletim Semanal 35/2024: SOJA**. Londrina/PR: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, 29 ago. 2024. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/>. Acesso em: 29 ago. 2024.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M. G.; SEDIYAMA, C. S.; GOMES, J. L. L. **Cultura da soja – I Parte**. 3ª Reimpressão. Viçosa: UFV, 1996.

SEDIYAMA, T.; TEIEIRA, R. C.; REIS, M. S. Melhoramento da soja. In: BORÉM, A. (2ed). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, p. 553-604, 2005.

SEDIYAMA, T., PEREIRA, M. G.; SEDIYAMA, C. S.; GOMES, J. L. L. Botânica, descrição da planta e cruzamentos artificial. In: **Cultura da Soja – I parte**. Viçosa: UFV, p. 553-604. 2005

SEDIYAMA, T., SILVA, F., BORÉM, A. **Soja do Plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, MG, 2015. 333p.

SEIDEL, E. P.; BASSO, W. L. Adubação foliar a base de cálcio e boro no cultivo da soja (*Glycine max*). **Scientia Agraria Paranaensis**, v.11, n. 2, p 75-81, 2012.

SILVA, A. C.; LIMA, É. P. C.; BATISTA, H. R. **A importância da soja para o agronegócio brasileiro**: uma análise sob o enfoque da produção, emprego e exportação. 2011.

SILVA, G. G.; GOMES JUNIOR, F. G. **Avaliação automatizada do vigor de sementes de soja utilizando o software Vigor-S**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UNIVERSIDADE SÃO PAULO, 2014. Resumos... São Paulo: USP, 2014. p.1-4.

SILVA, R. C. D.; JUNIOR, G. S. S.; SILVA, C. S.; SANTOS, C. T.; PELÁ, A. Nutrição com boro na soja em função da disponibilidade de água no solo. **Revista Scientia agraria**, Curitiba, v. 18, n. 4, p. 155-165, 2017.

SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; VICTORIA, D. D. C.; BASTOS, F. G.; LEITE, H. P. P.; FREIRE, L. V. Importância em se conhecer o tipo de solo e as particularidades da adubação em áreas de cerrado: características dos solos do bioma cerrado. In: SILVA, L. D. *et al.* **Sistema de Informações para Planejamento Florestal no Cerrado Brasileiro**. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2021. v. II, cap. 3, p. 30-43.

SILVA, M. A.; Silva, R. P.; Souza, E. J.; Bertotti, J. A. A.; Nuñez, D. N. C. Custo de produção da cultura da soja sob manejos de fitopatógenos e doses de boro. **Brazilian Journal of Science**, v. 1, n. 12, p. 49-62, 2022.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. **Nutrição e adubação potássica em Eucalyptus**. Informações Agronômicas, n. 91, 1-12 p. 2000.

SOUZA, L. C. D.; SÁ, M. E.; CARVALHO, M. A. C; SIMIDU, H. M. Produtividade de quatro cultivares de soja em função da aplicação de fertilizante mineral foliar a base de cálcio e boro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Paraíba, v. 08, n. 02, p. 37-44, 2008.

SOUSA, S. **Como funciona a mobilidade do boro no solo?** 2022. Disponível em:<<https://blog.verde.ag/pt/nutricao-de-plantas/mobilidade-do-boro-no-solo/>>. Acesso: 15 ago. 2024.

SYNGENTA. **Cultura da soja**. 2022. Disponível em: <<https://portal.syngenta.com.br/cultura/soja>>. Acesso em: 30 ago. 2024.

TANAKA M, FUJIWARA T. Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. **European Journal of Physiology**, v. 456, p. 671-677, 2008.

TARGUETA, J. P. **Análise das Iniciativas Empresariais Voltadas ao Aproveitamento da Lignina como Matéria-Prima**. (Dissertação). Rio de Janeiro: UFRJ, 2019.

TERASHIMA, N.; FUKUSHIMA, K. HE. L. F.; TAKABE, K. Comprehensive model of

the lignified plant cell wall In: JUNG, H. G.; BUXTON, D. R.; HATFIELD, R. D.; RALPH, J. (Ed.). **Forage cell wall structure and digestibility**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1993. p. 247-270.

THAKUR, V.K.; THAKUR, M.K.; RAGHAVAN, P.; KESSLER, M.R. Progresso em compósitos de polímero verde de lignina para aplicações multifuncionais: uma revisão. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 2, n. 5, p. 1072-1092, 2014.

TOMICIOLI, R. M.; LEAL, F. T.; COELHO, A. P. Limitação da produtividade pela deficiência de boro nas culturas da soja, milho, feijão e café. **South American Sciences**, Brasil, v.2, n.1, p. e21100, 2021. DOI: 10.17648/sas.v2i1.100. DOI:<https://doi.org/10.17648/sas.v2i1.100>.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). **Preços Agropecuários**. 2020. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/>>. Acesso em: 09 jul 2022.

VANHOLME, R.; DEMEDTS, B.; MORREEL, K.; RALPH, J.; BOETRJAN, W. Lignin biosynthesis and structure. **Plant Physiology**, v.153, n.3, p.895-905. DOI: <<https://doi.org/10.1104/pp.110.155119>>.

VANIN, A. **Benefícios do boro via foliar para a soja**. 2014. Disponível em: <<http://revistacampoenegocios.com.br/beneficios-do-boro-via-foliar-para-a-soja/>>. Acesso em: 2 jul. 2022.

VEIGA, A.D.; PINHO, É. V. D. R. V.; VEIGA, A. D.; PEREIRA, P. H. D. A. R.; OLIVEIRA, K. C. D.; PINHO, R. G. V. Influência do potássio e da calagem na composição química, qualidade fisiológica e na atividade enzimática de sementes de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.953-960, 2010. DOI:<https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000400022>.

VERA-MALDONADO, Peter et al. Role of boron and its interaction with other elements in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1332459, 2024.

VIDIGAL, D. S; WILLEMS, L.; ARKEL, J. V; DEKKERS, B. J. W.; HILHORST, H. W. M.; BENTSINK, L. Galactinol como marcador de longevidade de sementes. **Plant Science**, v. 246, p.112-118, 2016.

VIEIRA, E. L. **Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor de plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja (Glycine max (L.) Merrill), feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) e arroz (Oryza sativa L.)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2001.

WASTOWSKI, A. D. **Química da Madeira**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2018.

WHETTEN, ROSS W.; MACKAY, JOHN J.; SEDEROFF, RONALD R. **Recent advances in understanding lignin biosynthesis**. Annual review of plant biology, v. 49, n. 1, p. 585-609, 1998.

WILCOX, J.R.; GUODONG, Z. Relationships between seed yield and seed protein in determinate and indeterminate soybean populations. **Crop Science**, v.37, p. 361-364, 1997.

WILSON, R.F. Seed composition. In: BOERMA, H.R.; SPECHT, J.E. (Ed.). **Soybeans: improvement, production and uses**. 3.ed. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2004. p. 621-677.

WOODWORTH, C. Genetics of the soybean. **Journal American Society Agronomy**, v. 25, p. 36-51, 1933

WREGGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da Região Sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

WU, X.; RIAZ, M.; YAN, L.; DU, C.; LIU, Y.; JIANG, C. Boron deficiency in trifoliolate orange induces changes in pectin composition and architecture of components in root cell walls. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1882, 2017.

ZHANG, Q.; Tu, B.; Liu, C.; Liu, X. **Pod anatomy, morphology and dehiscing forces in pod dehiscence of soybean (*Glycine max (L.) Merrill*)**. *Flora*, v. 248, p. 48-53, 2018.

ZIEGLER, V. **Efeitos da umidade e da temperatura de armazenamento sobre parâmetros de avaliação da qualidade dos grãos, do óleo e de compostos bioativos de soja**. 2014, 110f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

YAMADA, T. 2016. **Síndrome das raízes atrofiadas**. Disponível em: <https://docplayer.com.br/52567382-Sindrome-das-raizes-atrofiadas-ii-deficiencia-deboro.html>

YOO, C.G.; MENG, X.; PU, Y.; RAGAUSKAS, A.J. The critical role of lignin in lignocellulosic biomass conversion and recent pretreatment strategies: A comprehensive review. **Bioresource Technology**, v.301, 122784, 2020. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122784>>.