



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA
CURSO DE AGRONOMIA



DIEGO RIBEIRO NUNES

MANEJO DE NUTRIENTES NA CULTURA DA SOJA

CHAPADINHA - MA
AGOSTO - 2023

DIEGO RIBEIRO NUNES

MANEJO DE NUTRIENTES NA CULTURA DA SOJA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal do Maranhão, para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Gregori da Encarnação Ferrão

CHAPADINHA - MA

AGOSTO - 2023

Ficha Catalográfica

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Nunes, Diego Ribeiro.

Manejo de nutrientes na cultura da soja / Diego Ribeiro
Nunes. - 2023.
37 f.

Orientador(a): Gregori da Encarnação Ferrão.
Monografia (Graduação) - Curso de Agronomia,
Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências de
Chapadinha, 2023.

1. Adubação da soja. 2. Glycine max. 3. Soja. I.
Ferrão, Gregori da Encarnação. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor DEUS. Que somente por intermédio Dele tudo me ocorreu bem e trilhei o bom caminho.

À minha avó, Joana, e minha mãe, Francisca (Aldineia), que com muitos sacrifícios e lutas me proporcionaram a possibilidade de estar formado.

À minha esposa Juliana Cavalcante e minha filha Emyle Nathalie que aceitaram entrar na luta e conquistar uma vida melhor juntamente comigo.

Ao meu amado irmão Danilo Nunes, que sempre estava disposto a ajudar.

Aos meus padrinhos, Chiquinho e Neide, que sempre estiveram presente na minha vida.

Aos meus primos Antônio Abreu e Neyfran Batista.

À minha segunda família, que me acolheram e deram suporte nesse percurso: dona Maria das Dores, Danielle, Amália, Samy Emanuelle, seu Raimundo, Amsterdam.

Aos amigos Jobson, Janna, Julia, seu Magalhães, tia Francisca, Rodrigo, Tarso, Willis, Natane, Nadir, Tatiane e em especial ao Alírio Santos, que me mostrou o valor de uma amizade recíproca e paltada no trabalho e companheirismo, e ao Franciner Costa que seus conselhos e ensinamentos direcionaram meu pensamento crítico sobre a vida e as pessoas que me cercam.

À Agroverdes, em nome de Christiane e Juvenal, que me mostraram a grandiosidade da área de atuação do agrônomo.

A todos os funcionários, corpo docente, administrativo e discentes da UFMA que de alguma forma me ensinaram a ser uma pessoa melhor no decorrer do curso.

Ao professor e orientador Gregori Ferrão que aceitou a empreita de realizar este trabalho.

Por fim, aos amigos e familiares que de alguma forma contribuíram na minha formação pessoal e profissional.

MUITO OBRIGADO A TODOS.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Trabalhos sobre marcha e acúmulo de nutrientes da soja.....	13
Tabela 2 - Quantidade absorvida e exportação de nutrientes na cultura da soja.	15
Tabela 3 - Relação das condições edafoclimáticas da literatura consultada.	17
Tabela 4 - Estádios e/ou DAE de maior demanda de macronutrientes pela soja.	21
Tabela 5 - Estádios e/ou DAE de maior demanda de micronutrientes pela soja.....	22
Tabela 6 - Ordem de absorção e exportação dos macronutrientes nos trabalhos pesquisados.	22
Tabela 7 - Ordem de absorção e exportação dos micronutrientes nos trabalhos pesquisados.	23
Tabela 8 - Máximo acúmulo total de nutrientes*	25
Tabela 9 - Lista de trabalhos científicos utilizados para revisão bibliográfica.....	26
Tabela 10 - Dados de produção, produtividade e Receita líquida do estudo de Chaves, (2017).	27
Tabela 11 - Análise dos parâmetros números de vagens (NV), comprimento de vagens (CV), condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) e potássio (K+) no solo na cultura da soja.	28
Tabela 12 - Componentes de produção da cultura da soja submetidos a aplicações foliares de manganês.	29
Tabela 13 - Produtividade e análise de área foliar da cultura da soja submetida a aplicações foliares de silício.....	30
Tabela 14 - Demais trabalhos sobre nutrição de soja.	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	HIPÓTESE DO TRABALHO	9
3	OBJETIVOS.....	10
3.1	Objetivo Geral.....	10
3.2	Objetivos Específicos.....	10
4	REVISÃO DE LITERATURA	11
4.1	Histórico da nutrição da soja.....	11
4.2	Marcha de absorção de nutrientes.....	12
5	MATERIAL E MÉTODOS	20
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
6.1	Quantidades requeridas dos nutrientes.....	21
6.2	Trabalhos realizados no Leste maranhense.....	26
7	CONCLUSÃO	33
8	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

O Brasil mais uma vez obteve safra recorde estimada em mais de 315 milhões de toneladas, com destaque para a cultura da soja, que superou 155 milhões de toneladas produzidas na safra 2022/23, sendo o resultado 24% superior à safra passada (Conab, 2023). A produção de soja no Brasil entre os anos 2000 até 2018 obteve crescimento anual de 6,8%, elevando a quantidade colhida de 38,4 milhões para 119,3 milhões de toneladas nesse respectivo período (Tecnologias..., 2020).

De acordo com Conab (2023), o Maranhão é o segundo maior estado produtor de soja do Nordeste, atrás somente da Bahia no tocante a área e produção e de Sergipe em produtividade. O leste maranhense é uma importante região produtora de soja, com solos que de forma generalizada são tidos como de baixa fertilidade natural e altamente intemperizados (Cerrado) (Santos, 2013), sendo necessário a prática da adubação para que se alcance níveis de produtividade aceitáveis.

Mudanças nas condições climáticas, como elevação do CO₂ atmosférico que resultou em aumentos no acúmulo de biomassa total, na taxa fotossintética e área foliar, associadas ao melhoramento genético, práticas de manejo e as interações entre esses fatores causaram melhorias na produtividade da soja (Balboa *et al.*, 2018).

Porém, o manejo subótimo da cultura é um dos principais protagonistas da lacuna de produtividade da soja, onde a nutrição de plantas ganha visibilidade, como sustentáculo para atingir altas produtividades (Edreira *et al.*, 2017).

Para a caracterização do estado nutricional das plantas são utilizados a diagnose visual, análise de solo e análise foliar, para determinar, respectivamente, sintomas de deficiência, níveis dos nutrientes no solo e nos tecidos das plantas (Malavolta, 2006; Faquin, 2005).

A descrição das etapas de desenvolvimento da soja é dividida em função das fases fenológicas (vegetativa e reprodutiva) e caracterização de cada estágio de desenvolvimento através da escala de Fehr e Caviness (1977) e através das exigências nutricionais que se relacionam com os estádios fenológicos (Tagliapietra *et al.*, 2022; Neumaier *et al.*, 2020).

A soja é uma cultura exigente em termos nutricionais e eficiente na absorção e utilização dos nutrientes do solo (Staut, 2007). A quantidade de nutrientes exigida pelas culturas segue a curva de acúmulo de matéria seca (Nascente *et al.*, 2016; Pires, 2019), e informações como curva de crescimento e a marcha de absorção dos nutrientes nos diferentes estádios fenológicos das plantas, permite conhecer as quantidades absorvidas, a intensidade da absorção e os períodos de maior exigência dos nutrientes, permitindo estabelecer o momento fenológico mais adequado para a aplicação dos fertilizantes (Sampaio; Brasil, 2009; Vieira *et al.*, 2018).

A exigência nutricional da soja é determinada através da quantidade de nutrientes que a planta extrai do solo no decorrer de seu ciclo de crescimento e desenvolvimento e pode sofrer influência de fatores como manejo do solo, disponibilidade hídrica e características intrínsecas da própria planta (Setubal, 2021).

2 HIPÓTESE DO TRABALHO

Ainda são considerados poucos os estudos de absorção e parcelamento de nutrientes para a cultura da soja (Bender *et al.*, 2015), além disso, estes restringem-se basicamente para os nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (Pires, 2019;) e não se sabe se as recomendações atuais de fertilizantes atendem à demanda nutricional da soja para altas produtividade.

Para relacionar o posicionamento dos nutrientes nos diferentes estádios da cultura, atendendo a necessidade nutricional durante o ciclo de desenvolvimento, objetivou-se realizar revisão bibliográfica sobre o manejo nutricional da cultura da soja, adotada no período de 2003 a 2023.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Realizar revisão bibliográfica sobre marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura da soja no período de 2003 a 2023.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Obter posicionamento dos nutrientes nos diferentes estágios da cultura da soja;

Relacionar os estádios fenológicos e a necessidade nutricional da soja;

Avaliar o requerimento nutricional visando altas produtividades

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 HISTÓRICO DA NUTRIÇÃO DA SOJA

Estudos sobre adubação para a soja ainda são considerados incipientes, mas a dinâmica dos nutrientes nas plantas são alvo de discussão na pesquisa científica sobre fertilidade e nutrição de plantas, e vários materiais já foram lançados com o intuito de sintetizar o conhecimento a respeito dessa temática (Malavolta *et al.*, 1997; Epstein; Bloom, 2006; Malavolta, 2006; Prado, 2008).

Porém, há a necessidade de se conhecer o momento mais propício para o fornecimento dos nutrientes para as plantas no intuito de evitar sintomas de deficiência ou, na ausência destes, a redução da produtividade através da “fome oculta” (Vitti; Trevisan, 2000).

Balboa *et al.* (2018) analisando bancos de dados histórico dos Estados Unidos para avaliar os principais componentes fisiológicos relacionados à eficiência do uso de nutrientes, composição dos nutrientes na semente e estequiometria dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), realizaram uma análise-síntese histórica sobre as mudanças no rendimento, absorção e estequiometria dos nutrientes na cultura da soja.

No estudo foi observado que o rendimento de sementes, biomassa e índice de colheita aumentaram ao longo dos anos e ocorreu aumentos na absorção de nutrientes pela cultura da soja. Balboa *et al.* (2018) também observaram que nos resíduos da cultura as concentrações de N permaneceram estáveis ao longo do tempo e ocorreu redução dos níveis de P e K no decorrer dos anos. Para todos os nutrientes estudados, constatou-se que as concentrações destes variou mais expressivamente na palhada em comparação aos níveis encontrados nas sementes, afirma o autor.

O trabalho indica que o responsável pela melhoria no rendimento foi principalmente o aumento da biomassa em detrimento dos índices de colheita, corroborando com estudos de FAO (2017). Portanto, estudos que visem realizar um levantamento histórico sobre as mudanças no rendimento, eficiência do uso de nutrientes e exigências da cultura da soja nas diferentes condições de produção brasileiro de soja, auxiliarão na correta caracterização desta cultura.

4.2 MARCHA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES

A Embrapa Soja em parceria com a Fortgreen Comercial Agrícola, no ano de 2016 realizaram a confecção de um folder sobre os estágios fenológicos e marcha de absorção de nutrientes da soja (Oliveira Junior *et al.*, 2016). Utilizou-se como embasamento para a confecção do folder os trabalhos de Zobiolo *et al.* (2012) e Embrapa (2015).

Estudos sobre marcha de absorção e acúmulo de nutrientes são abordados por diversos autores (Zobiolo *et al.*, 2012; Oliveira Junior *et al.*, 2014; Oliveira Junior *et al.*, 2016; Trigolo *et al.*, 2015; Quarezemin *et al.*, 2015; Araujo, 2018; Pires, 2019).

Na tabela 1 estão listados os títulos dos trabalhos a respeito da temática desses estudos que foi usado para embasamento sobre os estágios fenológicos mais propícios para fornecimento dos nutrientes na soja.

O trabalho de Zobiolo *et al.* (2012) foi realizado para compreender a influência da aplicação do herbicida glyphosate em variedades de soja transgênica (RR) e convencional em dois diferentes manejos de plantas daninhas: capina manual e herbicida. O estudo se fundamenta no fato de que o aumento do cultivo de soja RR no país ser bastante expressivo e ainda faltar conhecimentos sobre a influência do uso do glyphosate no manejo nutricional da soja. Foram avaliados o acúmulo de nutrientes nos diferentes estágios de desenvolvimento da cultura e comparou-se os resultados com a cultivar de soja convencional sobre o mesmo manejo de plantas daninhas.

Independente da cultivar avaliada, o acúmulo de matéria seca (MS) total foi lento até os 31 dias após a emergência (DAE), em V6. Após esse período, ocorreu rápido incremento de MS até o estágio R7, entre 112 e 116 DAE. Porém, para a cultivar resistente ao glyphosate e sob a aplicação do herbicida o acúmulo de MS e área foliar foram menores, em comparação aos demais tratamentos. Resultados também observados por outros autores, segundo Zobiolo *et al.* (2012), onde o menor incremento de biomassa pode ser causado pelo acúmulo de Ácido aminometilfosfônico (AMPA), que é o principal metabólito secundário fitotóxico produzido pelo glyphosate na soja, ou devido às reduções na taxa fotossintética e biodisponibilidade de nutrientes nos tecidos foliares. Essa menor produção de biomassa na soja RR submetida ao glyphosate indica a necessidade de aumentos nos níveis dos nutrientes para atingir a eficiência fisiológica e alcançar o potencial de produção, devido os efeitos do herbicida no metabolismo da planta, ressalta os autores.

Tabela 1 – Trabalhos sobre marcha de absorção e acúmulo de nutrientes da cultura da soja.

Título	Tipo de Trabalho	Autor
Acúmulo de nutrientes em soja convencional e soja RR em diferentes tipos de controle de planta daninha	Artigo	Zobiolo <i>et al.</i> (2012)
Marcha de absorção e acúmulo de macronutrientes em soja com tipo de crescimento indeterminado	Resumo expandido	Oliveira Junior <i>et al.</i> (2014) a
Marcha de absorção e acúmulo de zinco, manganês, ferro, cobre e boro em soja com tipo de crescimento indeterminado	Resumo expandido	Oliveira Junior <i>et al.</i> (2014) b
Marcha de acúmulo de macronutrientes por cultivares de soja com tecnologia RR e INTACTA	Resumo simples	Trigolo <i>et al.</i> (2015)
Marcha de acúmulo de micronutrientes por cultivares de soja com tecnologia RR e INTACTA	Resumo simples	Quarezemin <i>et al.</i> (2015)
Estádios fenológicos e marcha de absorção de nutrientes da soja	Folder	Oliveira Junior <i>et al.</i> (2016)
Acúmulo de matéria seca e marcha de absorção de nutrientes em soja de crescimento determinado e indeterminado	Dissertação	Araújo (2018)
Atividade microbiológica do solo e marcha de absorção de nutrientes da soja sob plantas de cobertura e preparo do solo	Dissertação	Pires (2019)

Fonte: Autor.

Para a produção de grãos, também foi observado comportamento semelhante ao do acúmulo de MS e área foliar, com os menores valores de MS nos grãos verificados para a cultivar RR com a aplicação de glyphosate. Em trabalhos anteriores realizados pelos autores, também se relatou a redução no acúmulo de biomassa na soja transgênica com aplicação de glyphosate, que pode ser por consequência do menor acúmulo e disponibilidade de nutrientes, devido à propriedade quelante do herbicida. Zobiolo *et al.* (2012) ressaltam que diversos fatores

podem influenciar na absorção de nutrientes pela soja, entre eles a aplicação de glyphosate, pela complexação do herbicida com cátions metálicos (Cu, Fe, Mn e Zn).

Até os 31 DAE (V6) o acúmulo de macro e micronutrientes foi baixo, assim como ocorreu para a produção de MS. Porém, após esse período a taxa de acúmulo de nutrientes aumentou de forma acentuada, sendo o ponto de máximo acúmulo ocorrido aos 104 DAE (R5.5) para os macronutrientes e aos 94 DAE (R5.3) para os micronutrientes.

A taxa de máximo acúmulo de MS, macro e micronutrientes ocorreu aos 79, 73 e 66 DAE, que corresponderam aos estádios R5.1, R4 e R3, respectivamente. Segundo Zobiolo *et al.* (2012), o valor do ponto de inflexão da curva corresponde ao estágio onde ocorre o maior acúmulo dos nutrientes na planta, onde a taxa de absorção diária é crescente e os valores estimados foram obtidos pela média dos valores de pontos de inflexão de cada nutriente.

Dependendo da fase do ciclo de desenvolvimento da soja, ocorre variações na demanda de nutrientes pela planta, tanto para macronutrientes quanto para os micronutrientes e o máximo acúmulo diário dos nutrientes coincide com o período inicial de frutificação, devido ao surgimento de uma força mobilizadora de nutrientes e fotoassimilados que ocorre nesse momento (Zobiolo *et al.*, 2012). Ainda segundo o autor, através da média dos pontos de máximo acúmulo de nutrientes, a ordem de extração dos macronutrientes foi: N>K>Ca>Mg>P>S, e para os micronutrientes: Fe>Mn>Zn>B>Cu.

Devido ao menor acúmulo de nutrientes na soja transgênica submetida ao glyphosate, ocorreu menor peso de sementes, porém não houve diferenças na produtividade com os demais tratamentos avaliados. Esse fato ocorre devido as cultivares convencionais de soja apresentarem níveis críticos de nutrientes diferentes dos obtidos pela soja transgênica tratada com glyphosate, pois o nível crítico dos nutrientes pode ser variável em função da eficiência fisiológica de utilização pela planta, afirmam os autores em estudo anterior (Zobiolo *et al.*, 2012).

Após o trabalho realizado por Zobiolo *et al.* (2012), Oliveira Junior *et al.* (2014a) e Oliveira Junior *et al.* (2014b) também avaliaram a marcha de absorção na cultura da soja, com o intuito de observar qual a influência do tipo de crescimento do cultivar teria sobre o acúmulo de nutrientes na soja. Ambos os experimentos foram realizados na estação experimental da Embrapa soja em Londrina, Paraná, de forma conjunta e em condições semelhantes.

Em ambos os trabalhos, os autores afirmam que as práticas de manejo nutricional da cultura da soja foram definidas apenas para cultivares com tipo de crescimento determinado (TCD). Porém, o emprego de cultivares com tipo de crescimento indeterminado (TCI) tem aumentado com o decorrer dos anos. Esses cultivares são caracterizados por apresentarem

crescimento vegetativo mesmo após o início do período reprodutivo, argumenta Oliveira Junior *et al.* (2014a) e Oliveira Junior *et al.* (2014b).

Devido à falta de informações sobre a dinâmica nutricional e de crescimento dos genótipos com TCI na literatura e para definir o estágio fenológico adequado para amostragem das folhas para realizar a diagnose nutricional e tomada de decisão para correção dos desequilíbrios nutricionais, Oliveira Junior *et al.* (2014a) e Oliveira Junior *et al.* (2014b) buscaram determinar a marcha de absorção e exigências nutricionais de um cultivar de soja com tipo de crescimento indeterminado para macronutrientes e micronutrientes, respectivamente.

Ao comparar as quantidades necessárias de macronutrientes para a produção de 1000 kg de grãos/ha obtidos no estudo de Oliveira Junior *et al.* (2014a) com estudos de referência (Tecnologias..., 2008) obtidos nas tecnologias de cultivo de soja, que foram realizados utilizando cultivar com tipo de crescimento determinado (TCD) (tabela 2), não se observou grandes variações nas exigências, com exceção ao enxofre (S), que na cultivar com TCI foi 30% inferior, ressalta o autor.

Tabela 2 - Quantidade absorvida e exportação de nutrientes na cultura da soja.

Parte da planta	kg.(1000 kg) ⁻¹ ou g.kg ⁻¹						g.(1000 kg) ⁻¹ ou mg.kg ⁻¹						
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Cl	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Grãos	51	10	20	3	2	5,4	20	237	10	70	30	5	40
Restos culturais	32	5,4	18	9,2	4,7	10	57	278	16	390	100	2	21
Total	83	15,4	38	12,2	6,7	15,4	77	515	26	460	130	7	61
% Exportada	61	65	53	25	30	35	26	46	38	15	23	71	66

Fonte: Tecnologias de produção de soja (2008).

Com relação aos valores exportados nos grãos, verificou-se aumento nas quantidades exportadas de N, P e K. Para Oliveira Junior *et al.* (2014a), as observações indicam a necessidade de atenção de ajustes na adubação com P e K em cultivares de TCI para suprir as demandas da planta. Esse argumento é reforçado pelo motivo de os grãos terem se tornado fortes drenos para a translocação dos nutrientes, o que evidencia a necessidade de adequação do manejo nutricional.

Foi verificado também alta correlação entre as curvas de acúmulo de nutrientes nas folhas, composto no estudo por trifólio e pecíolo, e apenas no limbo foliar (trifólio) indicando que a coleta das folhas sem o pecíolo reflete satisfatoriamente o acúmulo de nutrientes e o

estado nutricional da planta. O estágio adequado para a coleta de folhas para diagnose da soja com TCI variou entre R2 e R3, de acordo com o nutriente e safra avaliados.

O ponto de máximo acúmulo de nutrientes nos grãos ocorreu aos 90 DAE, que correspondeu ao estágio R5.3, e o máximo acúmulo total, demonstrando a fase de maior exigência nutricional das plantas, foi entre R3 e R4. Portanto, com o estudo sobre a dinâmica dos macronutrientes na soja de TCI conclui-se que as quantidades necessárias para a produção de uma tonelada de grãos/ha não variam significativamente entre as cultivares de TCD e TCI. Também se pode afirmar que o padrão nutricional da soja com TCI apresenta concentrações mais elevadas de N, P e K, gerando a necessidade de adequação nas recomendações de adubação com P e K, pois o N é fornecido para as plantas via fixação biológica de nitrogênio (FBN), concluíram os autores.

Já com relação ao estudo avaliando o comportamento dos micronutrientes em soja com TCI, também não foram observadas grandes discrepâncias entre os valores obtidos no estudo e os de referência com soja de TCD (Tecnologias..., 2008). Porém os níveis do micronutriente Fe foi 43% inferior em soja de TCI.

Para os valores de exportação nos grãos, houve ligeiro aumento nas quantidades exportadas de Zn, Mn, Cu e B, indicando uma provável necessidade de ajustes nas quantidades aplicadas desses nutrientes na soja de TCI. Também se repetiu o comportamento similar entre as curvas de acúmulo dos micronutrientes nas folhas e trifólios, demonstrando que a coleta dos trifólios sem o pecíolo reflete adequadamente o estado nutricional da planta.

O estágio adequado para coleta das folhas para diagnose nutricional de micronutrientes da soja com TCI também foi semelhante ao obtido para os macronutrientes. Mesmo comportamento foi obtido para o máximo acúmulo de nutrientes nos grãos e total, sendo a conclusão idênticas em ambos os estudos, com ressalva para maiores concentrações de Zn, Mn, Cu e B exportados nos grãos.

Na tabela 3 estão relacionadas as condições edafoclimáticas dos estudos relacionados na tabela 1.

Tabela 3 - Relação das condições edafoclimáticas da literatura consultada.

Trabalhos	Condições			
	Local	Latitude	Longitude	Solo
Zobiolo <i>et al.</i> (2012)	Londrina, PR.	23°23' S	51°11' W	Latossolo Vermelho distroférico, com 76,6% de argila, 18,2% de silte e 5,2% de areia
Oliveira Junior <i>et al.</i> (2014a)	Londrina, PR.	23°23' S	51°11' W	Latossolo Vermelho distroférico, com 78% de argila
Oliveira Junior <i>et al.</i> (2014b)	Londrina, PR.	23°23' S	51°11' W	Latossolo Vermelho distroférico, com 78% de argila
Trigolo <i>et al.</i> (2015)	Londrina, PR.	23°23' S	51°11' W	Latossolo Vermelho distroférico, com 78% de argila
Quarezemin <i>et al.</i> (2015)	Londrina, PR.	23°23' S	51°11' W	Latossolo Vermelho distroférico, com 78% de argila
Araújo (2018)	Dourados, MS	22° 12' S	54° 56' W	Latossolo Vermelho distroférico, muito argiloso
Pires (2019)	Bom Jesus, PI	09° 16' 20" S	44° 56' 56" W	Latossolo Amarelo distrófico típico, textura média

Fonte: Autor.

Como estudos complementares aos trabalhos citados anteriormente, Trigolo *et al.* (2015) e Quarezemin *et al.* (2015) avaliaram cultivares de soja com tipo de crescimento indeterminando que possuíam os genes de resistência ao herbicida glyphosate (RR) e com a inserção da tecnologia Intacta (RR2), a fim de verificar diferenças entre as variedades sobre a marcha de absorção de nutrientes, exigência nutricional e potencial de extração de nutrientes.

Trigolo *et al.* (2015) avaliaram essas características para os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e Quarezemin *et al.* (2015) para os micronutrientes (Zn, Mn, Fe, Cu e B).

Em ambos os estudos se chegou à conclusão que a exigência nutricional nos cultivares de soja com diferentes hábitos de crescimento ou tecnologias inseridas através da transgenia não diferem entre si por conta dessas características, mas está muito mais relacionada ao potencial produtivo do cultivar. Também foi possível concluir que cultivares precoces não são mais exigentes em termos nutricionais e que uma adequada distribuição hídrica permitirá a absorção dos nutrientes em período menor do que as cultivares de ciclo normal ou tardio possuem disponível para absorção, ressaltam os autores. Para os dois trabalhos o estágio de coleta das folhas para diagnose nutricional ocorre entre R2 e R3, dependendo do ciclo dos cultivares.

Araújo (2018) avaliando dois cultivares de soja, sendo uma com tecnologia Intacta (RR2) e outra convencional, com tipos de crescimentos distintos (determinado e indeterminado) e com características semelhantes, observaram que o padrão de acúmulo de MS para ambos os cultivares foi similar. Porém a cultivar com TCD apresentou maior acúmulo de MS nos ramos, por apresentarem maiores números desses órgãos em comparação ao cultivar com TCI, argumenta o autor.

O incremento em MS total da planta foi lento até os 30 DAE, corroborando com os estudos anteriores (Zobiolo *et al.*, 2012; Oliveira Junior *et al.*, 2014a; Oliveira Junior *et al.*, 2014b; Trigolo *et al.*, 2015; Quarezemin *et al.*, 2015). O máximo acúmulo de MS total foi alcançado em ambos os cultivares entre 88 e 89 DAE. Aos 60 DAE iniciou o estágio R3, em ambos os cultivares e aos 75 DAE ocorreu o início do estágio de enchimento de grão (R5.1). Ainda referente ao estudo de Araújo (2018), constatou-se que o cultivar intacta e com TCI obteve maior produtividade em comparação ao cultivar convencional e de TCD, o que resultou em maiores exportações dos nutrientes.

Através dos resultados apresentados no estudo, observa-se que o máximo acúmulo de MS nos grãos ocorreu entre os 98 e 99 DAE para ambos os cultivares, enquanto o máximo acúmulo dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) total ocorreram entre 88 e 90 DAE para o cultivar convencional com TCD e para o cultivar RR2 com TCI. O acúmulo máximo nos grãos nos dois cultivares foi alcançado aos 100 DAE, mesmo comportamento obtido para o ponto de inflexão (PI) da curva de absorção de nutrientes, levando-se em consideração a média dos PI nas folhas, que ocorreu aos 45 DAE. Evidenciando que nessa fase as folhas podem ser coletadas para realização da diagnose nutricional.

Pires (2019) realizou estudo sobre marcha de absorção de nutrientes em soja sob palhada de diferentes plantas de cobertura (milheto e crotalária) e manejos de solo. Os manejos de solo adotados foram plantio direto (SD) e cultivo mínimo (CM). O cultivar de soja utilizado no experimento foi caracterizado com de tipo de crescimento determinado e com a tecnologia intacta (RR2).

Apenas as diferentes plantas de cobertura demonstraram efeito sobre a produtividade da soja, sendo os maiores rendimento alcançados sob palhada de *Crotalaria ochroleuca* e no consórcio milheto + *Crotalaria spectabilis* com valores de 3.815 kg/ha e 4.024 kg/ha, respectivamente, indicando melhorias nas condições edáficas, devido ao maior acúmulo de nitrogênio através do uso das plantas de cobertura (Pires, 2019).

O máximo acúmulo de MS total e MS nos grãos e, conseqüentemente, o acúmulo total e nos grãos de nutrientes apresentou respostas distintas dependentes do manejo do solo empregado em sucessão a ambas as coberturas. Pires (2019) ressalta que o máximo acúmulo de MS total e MS nos grãos e o acúmulo dos nutrientes foi obtida em CM sob palhada de milheto aos 106 DAE. Atribuindo esse fato a escarificação do solo que proporcionou maior desenvolvimento radicular, suprimindo a necessidade exigida no enchimento de grãos, fase de maior demanda pelos nutrientes. Esse comportamento pode evidenciar a necessidade do revolvimento do solo em profundidade para a melhoria da exploração do sistema radicular em solos coesos. Pires (2019) também enfatiza que maiores valores de MS foram encontrados por outros autores, porém em condições de desenvolvimento, cultivar, período de cultivo e manejo do solo diferentes dos apresentados em seu trabalho e que essa variável é dependente das condições edafoclimáticas de solo, precipitação, manejo, condições climáticas e principalmente fatores intrínsecos do cultivar utilizado, corroborando com Trigolo *et al.* (2015) e Quarezemin *et al.* (2015), que afirmam que a exigência nutricional nos cultivares de soja ocorrem em função de seu potencial produtivo. Também é observado maiores valores de extração e exportação dos nutrientes pela semeadura direta sob palhada de milheto.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se revisão bibliográfica de trabalhos sobre marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura da soja no Brasil e sobre a adubação mineral de soja na região leste maranhense.

Para execução da busca nos bancos de dados da Embrapa e na *Web Of Science* foram utilizadas as palavras-chave: Soja, *Glycine max* e Adubação da soja. Para combinar os termos da pesquisa e filtrar a busca dos trabalhos utilizou-se os operadores booleanos “AND” e “OR”, respectivamente, para direcionar a busca de trabalhos que contenham apenas as palavras-chave e para trabalhos que contenham pelo menos uma das palavras-chave.

Também se realizou buscas nos repositórios das instituições de ensino superior (IES) do Maranhão para trabalhos de conclusão de curso que verssem sobre adubação mineral da cultura da soja no leste maranhense, utilizando-se na busca facetada as palavras-chave: Soja, *Glycine max*, Adubação da soja e Leste maranhense e trabalhos que compreenderam aos anos de 2003 a 2023.

Após a leitura do título e resumo, ocorreu a seleção dos trabalhos científicos alinhados com a proposta do presente estudo e a partir da obtenção do portfólio procedeu-se leitura completa dos trabalhos científicos selecionados e síntese das informações como marcha de absorção de nutrientes, acúmulo de nutrientes, estágio fenológico de maior demanda de nutrientes, máximo acúmulo dos nutrientes, produtividade e efeito dos tratamentos utilizados nos experimentos dos estudos analisados.

A busca no banco de dados da Embrapa e na *Web Of Science* foi realizada através dos sites: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/>; <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/>; <https://www-periodicos-capes-gov-br.ez14.periodicos.capes.gov.br/index.php?>. Para a busca nos repositórios das IES do Maranhão utilizou-se, respectivamente, os portais das universidades federais UFMA, UEMA e UEMASUL: <https://monografias.ufma.br/jspui/>, <https://repositorio.uema.br/> e <https://repositorio.uemasul.edu.br/home>.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 QUANTIDADES REQUERIDAS DOS NUTRIENTES

Nas tabelas 4 e 5 foram relacionados os momentos de maior demanda dos nutrientes, com base no ponto de inflexão dos trabalhos mencionados anteriormente na tabela 1. Observa-se tendência de maior demanda nutricional principalmente nos estádios reprodutivos, desde a fase de desenvolvimento das vagens (R3) até os estádios iniciais de enchimento de grãos (R5.2), demonstrando a necessidade de fornecimento prévio destes nutrientes para que a cultivar de soja possa alcançar seu máximo potencial produtivo. Malavolta (2006); Epstein e Bloom (2006); Prado (2008); Dechen e Nachtigall (2007) enfatizam que o posicionamento de nutrientes em momentos estratégicos e de maior demanda resulta em aumentos de produtividade mesmo sob condições adversas.

Tabela 4 - Estádios e/ou dias após a emergência (DAE) de maior demanda de macronutrientes pela soja.

Trabalhos	Macronutrientes*					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Zobiolo <i>et al.</i> (2012)	78 (R5.1)	84 (R5.2)	71 (R4)	64 (R3)	66 (R4)	73 (R4)
Oliveira Junior <i>et al.</i> (2014a)	80 (R5.1)	81 (R5.1)	76 (R4)	66 (R3)	73 (R4)	77 (R5.1)
Trigolo <i>et al.</i> (2015)	63 (R4)	64 (R4)	53 (R3)	58 (R3)	60 (R4)	62 (R4)
Araújo (2018)	61	61	53	56	51	60
Pires (2019)	76	70	68	59	64	72

Fonte: Autor.

* = Valores obtidos através do ponto de inflexão (PI).

De acordo com as informações compiladas nos estudos anteriores (tabela 1) é possível afirmar que as características intrínsecas dos cultivares de soja influenciam mais expressivamente no rendimento da cultura em detrimento ao tipo de crescimento e tecnologia do cultivar. Porém cultivares de soja com resistência a aplicação de glyphosate (RR) e, provavelmente, resistentes ao ataque de pragas (RR2) necessitam de atenção especial ao manejo nutricional empregado em alguns casos, seja devido à reduzida eficiência fisiológica de uso dos

nutrientes, em comparação às cultivares convencionais, necessitando de maiores teores de nutrientes ou pelo manejo do solo cultivado.

Tabela 5 - Estádios e/ou dias após a emergência (DAE) de maior demanda de micronutrientes pela soja.

Trabalhos	Micronutrientes*				
	Fe	Mn	Zn	B	Cu
Zobiolo <i>et al.</i> (2012)	70 (R4)	66 (R4)	68 (R4)	56 (R1)	61 (R3)
Oliveira Junior <i>et al.</i> (2014b)	65 (R3)	67 (R3)	75 (R4)	75 (R4)	79 (R5.1)
Quarezemin <i>et al.</i> (2015)	80 (R5.1)	72 (R4)	65 (R4)	72 (R4)	70 (R4)
Pires (2019)	77	65	60	77	67

Fonte: Autor.

* = Valores obtidos através do ponto de inflexão (PI).

Nas tabelas 6 e 7 estão organizadas as ordens de absorção e exportação dos nutrientes pela soja, encontrados nos estudos. Nota-se que a ordem de absorção é relativamente contante independentemente do hábito de crescimento do cultivar (determinado ou indeterminado), tipo de tecnologia de soja (convencional, RR ou RR2) ou condições edafoclimáticas (tabela 3) avaliadas.

Tabela 6 - Ordem de absorção e exportação dos macronutrientes na soja.

Trabalhos	Ordem de absorção	Ordem de exportação nos grãos
Zobiolo <i>et al.</i> (2012)	N>K>Ca>Mg>P>S	N>K>Ca>Mg>P>S
Oliveira Junior <i>et al.</i> (2014a)	N>K>Ca>Mg>P>S	N>K>P>Ca=S=Mg
Trigolo <i>et al.</i> (2015)	N>K>Ca>Mg>P>S	N>K>P>Ca=S=Mg
Araújo (2018)	N>K>Ca>P>Mg>S	N>K>Ca>P>Mg>S
Pires (2019)	N>K>Ca>S>P>Mg	N>K>S>P>Ca=Mg

Fonte: Autor.

Ressalta-se ainda que os macronutrientes N, K e Ca são sempre os mais requeridos pelas plantas nas ordens de absorção. Isso pode estar ligado ao fato desses nutrientes estarem

presentes em aminoácidos, proteínas e enzimas (N), serem ativadores de várias enzimas e coenzimas (K), além de estar presente na estruturação da parede celular na forma de pectatos (Ca) (Taiz *et al.*, 2017; Kerbaudy, 2008; Marengo; Lopes, 2005).

Tabela 7 - Ordem de absorção e exportação dos micronutrientes na soja.

Trabalhos	Ordem de absorção	Ordem de exportação nos grãos
Zobirole <i>et al.</i> (2012)	Fe>Mn>Zn>B>Cu	Fe>Mn>Zn>B>Cu
Oliveira Junior <i>et al.</i> (2014b)	Fe>Mn>Zn=B>Cu	Fe>Zn=Mn>B>Cu
Quarezemin <i>et al.</i> (2015)	Fe>Mn>Zn=B>Cu	Fe>Zn=Mn=B>Cu
Pires (2019)	Fe>Mn>Zn>B>Cu	Fe>Zn>B>Mn>Cu

Fonte: Autor.

Observa-se que nos estudos sob ambientes semelhantes como os de Zobirole *et al.* (2012), Oliveira Junior *et al.* (2014a) e Trigolo *et al.* (2015), ocorridos nas mesmas condições (tabela 3) resultaram nas mesmas ordens de absorção para os macros e micronutrientes. Porém quando em ambientes distintos, como a região nordeste e sul, as ordens de absorção somente são iguais para os nutrientes N, K e Ca, e a partir destes as ordens se diversificam entre os demais macronutrientes. Esse fato pode estar relacionado às diferenças na fertilidade do solo e potencial de absorção de cultivares com grupo de maturidade relativa (GMR) distintos para as diferentes regiões produtoras. Zanon (2015) ressalta que os grupos de maturidade relativa são recomendados com o intuito de adaptação da cultura da soja às diversas latitudes das regiões produtoras.

Para os micronutrientes a ordem de absorção é relativamente igual nos diferentes ambientes, manejos e cultivares de soja usados nos estudos, demonstrando constância na absorção dos nutrientes na soja cultivada no país. Os micronutrientes são requeridos em quantidades menores para as plantas, porém são exigidos por serem ativadores de diversas enzimas e coenzimas e fazerem parte de reações importantes como respiração celular, síntese de lipídeos e proteínas, redutase do nitrato, enzima hidrogenase e na FBN, principalmente os nutrientes Fe e Mo que compõem a enzima nitrogenase, responsável pelo fornecimento da maioria, e em alguns casos de todo o nitrogênio requerido pela planta (Taiz; Zeiger, 2013; Moreira; Siqueira, 2006).

Para a ordem de exportação dos nutrientes pelos grãos, observa-se que mesmo sob condições de desenvolvimento idênticas a ordem de exportação dos macronutrientes somente são iguais em todos os estudos para o N e K, variando as posições dos demais nutrientes nos diferentes ambientes. Isso pode estar relacionado aos cultivares usados nos experimentos que podem possuir capacidade de translocação de nutrientes variáveis e priorizarem alguns nutrientes em detrimento de outros.

O fato de o K ser o segundo nutriente mais exigido pela soja reforça a necessidade de maiores cuidados para o fornecimento desse nutriente nos estádios fisiológicos de maior requerimento, já que o nitrogênio é fornecido em sua quase totalidade pela simbiose entre a soja e os rizóbios (Tagliapietra *et al.*, 2022; Moreira; Siqueira, 2006). Porém o fornecimento de N nas etapas de enchimento de grãos já demonstrou efeitos negativos sobre o rendimento da soja (Hungria; Nogueira, 2019) e que pode estar relacionado ao fato que a aplicação de fertilizante nitrogenado prejudica a atividade dos nódulos ainda vivos nas fases finais de enchimento de grãos, além de também prejudicar a remobilização de N das folhas para os grãos, prejudicando assim o rendimento de grãos da soja (Hungria; Nogueira, 2022).

Já para os micronutrientes, constata-se que independente das condições de desenvolvimento, manejo do solo, hábito de crescimento e tecnologia dos cultivares, o ferro (Fe) é o nutriente mais exportado e o cobre (Cu) encontrado em menores concentrações nos grãos.

Na tabela 8 são apresentados os valores estimados de máximo acúmulo de nutrientes através de modelos matemáticos obtidos nos estudos que compuseram o embasamento teórico do presente trabalho. Avaliando as produtividades e demanda dos nutrientes pelas plantas, observa-se que sob mesmos ambientes de cultivo (tabela 9), cultivares de TCI com tecnologia de resistência ao glyphosate (RR) possuem maiores acúmulos de nutrientes nas plantas, que resultou na maior produtividade obtida nessas condições. Porém, comparando-se todas as máximas produtividades alcançadas obtêm-se que o cultivar de TCD com tecnologia intacta (RR2) resultou em maior produtividade, mesmo requerendo menores valores de macronutrientes, com exceção de K e S. Esse resultado pode exemplificar a condição de maior eficiência interna de uso dos nutrientes pelas plantas, já citado por Bender *et al.* (2015). A cultivar convencional também obteve produtividade alta em comparação aos demais estudos, sendo esta cultivar também de TCD.

Tabela 8 - Máximo acúmulo total de nutrientes na soja. *

Trabalhos	Tipo do cultivar	Macronutrientes (kg/ha)						Produtividade máxima alcançada (Kg/ha)
		N	P	K	Ca	Mg	S	
Zobiolo <i>et al.</i> (2012)	Convencional; TCD	236	26	129	66	28	20	4.305*
Oliveira Junior <i>et al.</i> (2014a)	RR; TCI	264	25	107	52	37	15	3.300
Trigolo <i>et al.</i> (2015)	RR; TCI	373	34	250	118	46	19	4.000
Araújo (2018)	Intacta; TCI	430	49	212	150	52	16	3.530
Pires (2019)	Intacta; TCD	236	23	159	37	15	18	4.419

Fonte: Autor.

* = Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de nutrientes.

Para as diferentes regiões dos estudos, observa-se maior eficiência fisiológica no cultivar de TCD com tecnologia RR2 cultivada na região Nordeste evidenciada pela maior produtividade obtida. E o maior acúmulo total de nutrientes ocorreu em cultivar de TCI e tecnologia RR2 cultivada na região Sul, com exceção para os nutrientes K e S. Os diferentes resultados de K e S nos estudos utilizando cultivar de mesma tecnologia RR2 e diferentes hábitos de crescimento necessitam de mais pesquisas para relacioná-los com características das plantas e seus diferentes órgãos da parte aérea (folhas, pecíolo, ramos, vagens e grãos), além do hábito de crescimento.

Porém, o potencial de rendimento dos cultivares mostra-se como característica intrínseca importante para obtenção de altos rendimentos, pois avaliando os estudos com soja de TCI e tecnologia RR, obtêm-se que mesmo sob condições do ambiente de produção idênticas, hábitos de crescimento e tecnologia empregados, o cultivar de maior potencial irá requerer maior fornecimento de nutrientes para alcançar seu máximo rendimento.

Para o máximo acúmulo de micronutrientes, observa-se que a maior produtividade alcançada também acumulou menores teores de micronutrientes, com exceção do Fe, comportamento semelhante ao obtido para os macronutrientes. Também ocorreu maior acúmulo de nutrientes para o cultivar com hábito de crescimento indeterminado com tecnologia RR, que resultou na segunda maior produtividade dentre os cultivares avaliados reforçando a hipótese que a maior eficiência fisiológica pode ser um diferencial de cultivares para as regiões que incrementa o rendimento da cultura da soja, exigindo menores quantidades de adubação.

Porém essas hipóteses necessitam de maiores estudos para geração de bancos de dados robustos para caracterizar cada potencial produtivo e exigências nutricionais dos cultivares utilizados na região produtora do leste maranhense.

6.2 TRABALHOS REALIZADOS NO LESTE MARANHENSE

Na tabela 9 estão relacionados os trabalhos encontrados nas instituições de ensino superior do Maranhão.

Tabela 9 - Trabalhos científicos sobre nutrição mineral da soja no leste maranhense.

Nutriente	Título	Autor
K	Adubação potássica na soja cultivada em vaso e sua correlação com a condutividade elétrica	Chaves (2017)
	Adubação potássica na cultura da soja cultivada na região de cerrado maranhense	Silva (2016)
Si	Avaliação dos efeitos de aplicações foliares de Silício na cultura da soja	Deifeld (2017)
Mn	Adubação foliar de manganês na cultura da soja no cerrado maranhense	Araújo (2018)

Fonte: Autor

Dentre os trabalhos pesquisados e relacionados na tabela 9, estão os de Silva (2016) e Chaves (2017) que estudaram a adubação potássica na cultura da soja a campo e em ambiente protegido, respectivamente.

Para avaliar a produção de soja em função de doses crescentes de adubação potássica, e a relação entre doses do fertilizante e a condutividade elétrica, os autores Silva (2016) e Chaves (2017), respectivamente, avaliaram em condições de campo, no sulco de plantio, e em ambiente protegido a resposta da cultura da soja a crescentes doses de potássio. Em ambos os trabalhos foram aplicadas doses de 0, 50, 100, 200 e 300 kg de K₂O por hectare, com plantio manual, mesmo tratamento de sementes e a mesma variedade de soja. A colheita foi realizada aos 92 dias após a semeadura (DAS) no estádio R8, de acordo com os autores.

Para o trabalho realizado em vasos não foi observado resposta da soja às doses de potássio para produtividade, número de vagens e comprimento de vagens (Tabelas 10 e 11),

mas ocorreu o estiolamento das plantas devido a altas dosagens de potássio que pode causar inibição da absorção de outros nutrientes como cálcio e magnésio, afirma o autor.

Tabela 10 - Dados de produção, produtividade e Receita líquida de soja submetida a doses crescentes de adubação potássica.

TRATAMENTOS (kg.ha⁻¹)	Produção (Kg.ha⁻¹)	Produtividade (Kg.ha⁻¹)	Receita Líquida (R\$)
0	0,013934 a	3116,29 a	46.744,38 a
50	0,010538 a	3114,22 a	46.712,83 a
100	0,013918 a	3059,03 a	45.884,40 a
200	0,16208 a	4034,33 a	60.737,82 a
300	0,014642 a	3534,65 a	53.737,82 a
CV (%)	45,41	45,41	45,41

Fonte: Chaves (2017). Valores seguidos de letra iguais nas colunas não diferem entre si estatisticamente.

Também não houve correlação das doses de potássio com a condutividade elétrica medida do extrato do solo. Mas ocorreu aumento dos teores de potássio no solo de forma linear às doses empregadas, devido ao aumento da concentração desse nutriente no solo (Chaves, 2017).

No estudo a campo avaliando as doses crescentes de potássio (Silva, 2016), o autor afirma também não observar diferenças para as variáveis estudadas, entre as quais está a produtividade. Porém, em comparação com o tratamento sem a aplicação de K ocorreu incremento na massa de 100 grãos a partir da menor dose de potássio utilizada. Também foi constatado que o teor de K no solo apresentou comportamento linear com a elevação das doses, sugerindo que o efeito residual do potássio no solo pode ser prejudicial ao longo do tempo, pois não houve aproveitamento pela cultura da adubação aplicada, afirma o autor.

Tabela 11 - Análise dos parâmetros números de vagens (NV), comprimento de vagens (CV), condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) e potássio (K⁺) no solo em soja submetida a doses crescentes de adubação potássica.

TRATAMENTOS (g.ha⁻¹)	NV (un)	CV (cm)	CEes (μS/cm)	K⁺ (ppm)
0	24,60 a	4,20 a	159,53 a	3,40 b
50	26,00 a	4,20 a	144,68 a	5,20 b
100	25,80 a	4,50 a	151,71 a	11,40 b
200	33,40 a	4,60 a	191,24 a	44,00 ab
300	27,80 a	4,30 a	131,69 a	68,60 a
CV (%)	23,35	13,18	35,39	103,50

Fonte: Chaves (2017). Valores seguidos de letras iguais nas colunas não diferem entre si estatisticamente.

Já para o nutriente Mn, Araújo (2018) avaliou doses crescentes desse micronutriente em lavoura comercial para os componentes de produção número de vagens por planta (NVP), número de sementes por planta (NSP), peso de mil sementes (PMG) e produtividade (Tabela 12). Definiu o momento de aplicação em V5, R1 e R5 de forma a realizar incrementos crescentes na adubação foliar de manganês nesses estádios.

Observou-se que a aplicação de doses entre 90 ml/ha e 180 ml/ha de Mn obtiveram respostas significativas para NVP e NSP, atribuído à maior taxa fotossintética realizada na presença desse micronutriente, devido sua função no complexo evoluidor de O₂, argumenta Araújo (2018). Também se observou que a maior dosagem de manganês, alcançada com a aplicação de 180 ml/ha em V5, adição de 90 ml/ha em R1 e, posteriormente, adicionados mais 90 ml/ha em R5, foi responsável pelo maior PMS e, conseqüentemente, maior produtividade, chegando a mais de 3.000 kg/ha.

Tabela 12 – Análise dos componentes de produção peso de mil grãos (PMG), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por planta (NSP) e produtividade da cultura da soja submetida a aplicações foliares de manganês.

TRATAMENTOS (g.ha⁻¹)	PMG (g)	NVP	NSP	Produtividade (kg.ha⁻¹)
0	103,71 C	48,77 B	103,62 B	2.478,39 B
90	116,30 B	57,15 A	127,46 A	2.929,48 AB
180	103,81 C	60,54 A	132,46 A	2.564,81 AB
270	122,94 B	44,85 BC	102,15 BC	2.958,90 AB
360	132,56 A	37,85 C	81,77 C	3.052,27 A
CV %	8,83	21,20	24,28	23,75

Fonte: Araújo (2018). Valores seguidos de letra iguais nas colunas não diferenciam entre si estatisticamente.

O maior rendimento em produtividade pode estar relacionado com os piores resultados obtidos pela maior dosagem de Mn sobre NVP e NSP, atribuído ao menor número de drenos que favorece uma maior mobilização de fotoassimilados para os grãos, tornando-os mais pesados (Araújo, 2018). Ainda segundo o autor, a aplicação da dosagem de 360 ml/ha de manganês carece de uma análise sobre a viabilidade econômica para o produtor.

O silício é considerado nutriente benéfico para as plantas (Marschner, 1995; Malavolta, 2006). Em trabalho realizado por Deifeld (2017), foi avaliado a resposta de doses de Si para as variáveis índice de área foliar e produtividade em cultivo de soja comercial (Tabela 13). As aplicações ocorreram nos estádios V4, R2 e R4 com doses que corresponderam a 20, 40 e 60 g/ha de silício distribuídas ao longo do ciclo da cultura.

Tabela 13 – Dados de peso de mil grãos (PMG), número de grãos por planta (NG/PLA), peso de grãos por planta (PG/PLA) e análise de área foliar (AF) da cultura da soja submetida a aplicações foliares de silício.

TRATAMENTOS (g.ha ⁻¹)	PMG (g)	NG/PLA	PGR/PLA (g)	AF (cm ²)
0	137,93333 A	189,27 A	26,135 A	15,127 B
20	137,8000 A	170,93 A	22,582 A	22,916 A
40	123,2567 C	146,00 A	20,126 A	19,651 A
60	128,2667 B	170,20 A	20,978 A	15,949 B
CV %	0,44	29,88	29,47	22,73

Fonte: Deifeld (2017). Valores seguidos de letras iguais nas colunas não diferem entre si estatisticamente.

As primeiras doses de Si resultaram em maiores áreas foliares, em detrimento da maior dose utilizada e ao tratamento sem adição de silício. Para Deifeld (2017), esse resultado pode ser atribuído ao fato que o nutriente proporciona redução do auto sombreamento pelas folhas da planta, por possibilitar que estas fiquem mais eretas, e pelo aumento da tolerância ao ataque de pragas, também causado pela presença do silício, que torna as folhas mais duras que causa o desgaste das mandíbulas dos insetos mastigadores. Ainda ressalta que a redução em área foliar pela maior dosagem de silício, pode estar relacionada com a fase fenológica de aplicação, devido doses elevadas do nutriente levar a formação de camada espessa de sílica sobre as folhas e afetar a quantidade de estômatos na superfície foliar.

A aplicação das doses 40 e 60 g/ha resultaram em decréscimos para a variável peso de mil grãos (PMG), podendo ser utilizado 20 g/ha de Si como dose recomendada, de acordo com Deifeld (2017). Ainda segundo o autor, as doses do nutriente benéfico para a cultura da soja podem auxiliar na manutenção da área foliar, porém é necessário correlacionar a adubação com a época mais adequada de aplicação.

Outros trabalhos, listados na tabela 14, também versam sobre a nutrição de soja, porém com foco diferente dos relacionados ao presente estudo. Pereira (2022) realizou pesquisa voltada a avaliar o desempenho da soja em vasos sob diferentes fontes de esterco orgânicos, pois os dejetos sólidos de animais proporcionam melhorias na qualidade do solo, podendo aumentar a produtividade, fertilidade e diversidade biológica, argumenta o autor.

Tabela 14 – Trabalhos sobre a cultura da soja no leste maranhense, porém com foco diferente da nutrição mineral.

Título	Autor
Desempenho produtivo da soja cultivada com diferentes fontes de esterco orgânicos	Pereira (2022)
Desempenho da soja produzida com biochar de babaçu e adubação mineral no leste maranhense	Sousa (2019)
Uso de sulfato de amônio e ureia em coberturas no controle de fitonematoides em cultivares de soja na microrregião de Chapadinha-MA	Sene (2018)
Fitotoxicidade de <i>Hyptis suaveolens</i> frente às culturas da soja e alface	Nascimento (2017)
Avaliação da produtividade de soja por meio de técnicas de geoprocessamento	Silva (2019)

Apesar da obtenção de resultados positivos na utilização da adubação orgânica obtida no trabalho de Pereira (2022) em comparação a soja cultivada apenas em latossolo amarelo distrófico, os níveis de produtividade alcançados e o fato de a cultura da soja ser cultivada sob solo corrigido para acidez e níveis de nutrientes, o trabalho não representa a realidade da atual produção agrícola na região leste maranhense.

Já o trabalho de Sousa (2019), avaliou a aplicação de níveis crescentes de biochar de babaçu e adubação mineral na cultura da soja. Segundo o autor, o biochar pode ser caracterizado como biomassa carbonizada em ambiente com pouco ou nenhuma presença de oxigênio, através do processo de pirólise. Apesar dos resultados positivos obtidos no estudo, que ressalta ganhos em produtividade, melhoria no desempenho da cultivar avaliada e que o biochar é um importante condicionador de solo, o trabalho de Sousa (2019) além de não especificar qual a concentração dos nutrientes usados na adubação mineral avaliada, também tem como foco da pesquisa o uso do biochar e não a nutrição mineral das plantas, fato que corrobora para exclusão do estudo como literatura balizadora do presente trabalho.

O trabalho de Sene (2017) avaliou a influência do uso de sulfato de amônia e uréia para o controle de fitonematoides em cultivares de soja, e observou que alguns cultivares possuem

geneticamente resistência ao ataque de nematoides e que outras apresentaram resposta ao tratamento com fontes de nitrogênio para o controle da praga. Também evidenciou que a condição nutricional da planta reflete na tolerância ao ataque de nematoides.

Nascimento (2017) avaliou o efeito fitotóxico da planta daninha *Hyptis suaveolens* sobre o desenvolvimento inicial da soja e da alface. Apesar de se tratar da temática soja, o trabalho de Nascimento (2017) refere-se à avaliação da alelopatia entre plantas daninhas e sementes de soja e alface. Porém o estudo evidenciou que ocorre efeitos negativos das concentrações das frações orgânica na velocidade de germinação, no crescimento de plântulas e produção de biomassa da soja.

No estudo avaliando a produtividade da soja por meio de geoprocessamento, Silva (2019) observou que os atributos químicos apresentam dependência espacial, além das interações entre os processos de formação do solo e práticas de manejo e cultura. O estudo da fertilidade do solo é importante balizador para as novas tecnologias de agricultura de precisão, pois os programas computacionais utilizam-se desses dados para definir zonas específicas de aplicação de insumos a taxas variadas, para obtenção de homogeneidade da fertilidade solo, ressalta Silva (2019).

No entanto, devido a diminuta quantidade de trabalhos científicos encontrados (quadro 1) neste levantamento, é possível afirmar que a nutrição mineral da cultura da soja requer maior atenção por parte da pesquisa para se conhecer as potencialidades produtivas da leguminosa no leste maranhense. Informações sobre o manejo nutricional da cultura da soja na região constitui uma lacuna de estudos significativa para a correta caracterização dessa cultura, já afirmava Almeida (2018).

Esse fato é corroborado também por pesquisas nacionais (Zobiolo *et al.*, 2012) e internacionais (Bender *et al.*, 2015) que afirmam serem considerados poucos os estudos sobre absorção e parcelamento de nutrientes para a cultura da soja e que não se sabe se as recomendações atuais de fertilizantes são adequadas para suportar as necessidades nutricionais da soja em níveis elevados de biomassa e de produção de grãos. Além disso, a maioria dos estudos sobre nutrição de soja restringem-se basicamente para os nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) de forma individualizada (Balboa *et al.*, 2018; Pires, 2019;).

7 CONCLUSÃO

Características como hábito de crescimento, tecnologia de transgenia e manejo do solo podem exercer influência sob o rendimento da soja, necessitando de maiores avaliações no campo.

Cultivares transgênicas necessitam de maior atenção ao manejo nutricional, devido a menor eficiência fisiológica de uso dos nutrientes. Enquanto cultivares precoces possuem exigência nutricional semelhantes às de cultivares de ciclo normal ou tardio, porém necessitam de adequada distribuição hídrica durante seu ciclo de desenvolvimento.

O incremento de matéria seca ocorre de forma lenta nos períodos iniciais de desenvolvimento da soja, compreendendo os 30 dias após a emergência.

A coleta das folhas para realização da diagnose nutricional ocorre entre os estádios R2 e R3, caracterizando de forma adequada o estado nutricional da planta.

A maior demanda nutricional da soja ocorre principalmente nos estádios reprodutivos, entre R3 (início do desenvolvimento das vagens) a R5.2 (enchimento de grãos). Sendo os nutrientes N, K e Ca são os mais requeridos pelas plantas.

Ainda são considerados incipientes as pesquisas sobre nutrição mineral de soja com as variedades utilizadas na região leste maranhense, principalmente no tocante a marcha de absorção e acúmulo de nutrientes.

A caracterização do manejo nutricional da soja necessita de levantamento histórico sobre as mudanças no rendimento, eficiência fisiológica de uso dos nutrientes pelas plantas e exigência nutricional em função do potencial produtivo da soja cultivada na região leste maranhense.

Os cultivares utilizados na região leste maranhense ainda necessitam de estudos sobre a eficiência fisiológica de uso dos nutrientes para selecionar os cultivares mais eficientes que resultará no alcance de seu potencial produtivo, altas produtividades e menor dispêndio de fertilizantes, sendo estes mais economicamente viáveis aos produtores de soja.

8 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, N.A.S.N. **Desenvolvimento da produção de soja na Microrregião de Chapadinha-MA, entre os anos 2008 a 2013**. 17 f. Monografia (Graduação), Curso de Agronomia, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-MA, 2018.
- ARAUJO, W.A. **Acúmulo de matéria seca e marcha de absorção de nutrientes em soja de crescimento determinado e indeterminado**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados. UFGD, 2018.
- BALBOA, G.R.; SADRAS, V.O.; CIAMPITTI, I.A. Shifts in Soybean Yield, Nutrient Uptake, and Nutrient Stoichiometry: A Historical Synthesis-Analysis. **Crop Science**, v. 58, 2018.
- BENDER, R.R.; HAEGELE, J.W.; BELOW, F.E. Nutrient Uptake, Partitioning, and Remobilization in Modern Soybean Varieties. **Agronomy Journal**. V. 107, Issue 2 • 2015.
- CHAVES, F.M.S. **Adubação potássica na soja cultivada em vaso e sua correlação com a condutividade elétrica**. 19 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-MA, 2017.
- CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, sétimo levantamento, Abril, 2023. Brasília: **Conab**, 2023. 107p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 02 mai. 2023.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. Ed Fertilidade do solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 595-644, 2007
- DEIFELD, J.A. **Avaliação dos efeitos de aplicações foliares de silício na cultura da soja**. 24 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-MA, 2017.
- EDREIRA, J.I.R.; MOURTZINISB, S.; CONLEYB, S.P.; ROTHB, A.C.; CIAMPITTIC, I.A.; LICHTD, M.A.; KANDELE, H.; KYVERYGAF, P.M.; LINDSEYG, L.E.; MUELLERH, D.S.; NAEVEI, S.L.; NAFZIGERJ, E.; SPECHTA, J.E.; STANLEYE, J.; STATONK, M.J.; GRASSINI, P. Assessing causes of yield gaps in agricultural areas with diversity in climate and soils. **Agricultural and Forest Meteorology**. 247 (2017) 170–180.
- EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. 3.ed. Londrina, Planta, 2006. 403p.
- FAO. 2017. **FAOSTAT database collections**. FAO, Rome. [http:// faostat.fao.org](http://faostat.fao.org)
- FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2005.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology. 1977. 11 p.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Tecnologias de inoculação da cultura da soja: Mitos, verdades e desafios. In: **Boletim de Pesquisa** n. 19, 2019/2020. Rondonópolis: Fundação MT, 2019. p. 50-62. (Fundação MT. Boletim, 19).

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A. Fixação biológica do nitrogênio. In **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. 550 p.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431p.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.^a ed. Piracicaba, POTAFÓS, 319 p. 1997.

MARENCO, A. R.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**. Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 397 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press, London, 889p. 1995.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Editora UFPA. 2. ed. atual. e amp. Lavras, 2006. 720 p.

NASCENTE, A.S.; CARVALHO, M.D.C.S.; ROSA, P.H. Growth, nutrient accumulation in leaves and grain yield of super early genotypes of common bean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 2016.

NEUMAIER, N.; FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; MERTZ-HENNING. L.M.; FOLONI, J.S.S.; MORAES L.A.C.; GONÇALVES S.L. Ecofisiologia da soja. In: **Tecnologias de Produção de Soja**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2020. 347p (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, n. 17).

OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F.A. de; FOLONI, J.S.S. Marcha de absorção e acúmulo de zinco, manganês, ferro, cobre e boro em soja com tipo de crescimento indeterminado. In: **REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA**, 34., 2014, Londrina. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2014. p. 133-136.

OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F.A. de; FOLONI, J.S.S. Marcha de absorção e acúmulo de macronutrientes em soja com tipo de crescimento indeterminado. In: **REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA**, 34., 2014, Londrina. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2014.

PIRES, M.F.M. **Atividade microbiológica do solo e marcha de absorção de nutrientes da soja sob plantas de cobertura e preparo do solo**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Bom Jesus - PI, 2019.

PRADO, R.M. **Nutrição de plantas**. Editora UNESP. São Paulo. 2008. 407p.

QUAREZEMIN, M.A.K.; TRIGOLO, A.L.M.; SILVA, R.P.C.; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F.A. de; FOLONI, J.S.S.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de. Marcha de acúmulo de

micronutrientes por cultivares de soja com tecnologia RR e INTACTA. In: **VII CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA-MERCOSOJA 2015**.

SAMPAIO, L.S.; BRASIL, E.C. Exigência nutricional do feijão-caupi. In: **CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI**, 2., 2009, Belém, PA. Da agricultura de subsistência ao agronegócio: anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009.

SANTOS, H. G. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**: Rio de Janeiro, 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SEIXAS, C.D.S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; KRZYZANOWSKI, F.C.; LEITE, R.M.V.B.C. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina-PR: Embrapa soja, 2020. 347 p. (Sistemas de Produção/Embrapa Soja, n. 17).

SETUBAL, I.S. Marcha de absorção de nutrientes em soja sob adubação nitrogenada em regime hídrico pleno e deficitário. Teresina-PI, 2021. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

SILVA, E.L. da. **Adubação potássica na cultura da soja cultivada na região de cerrado maranhense**. 31f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-MA, 2016.

STAUT, L.A. **Adubação foliar com nutrientes na cultura da soja**. 2007. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/141636/1/Adubacao-foliar.pdf>. Acesso em 09 de Jun. 2023.

TAGLIAPETRA, E.L.; WINCK, J.E.M.; SILVA, M.R. DA; ALVES, A.F.; MUNARETO, G.G.; POERSCH, A.H.; RIBEIRO, B.S.M.R.; QUINTERO, C.E.; RICHTER, G.L.; BALEST, D.S.; INKLMAN, V.B.; SCHNEIDER, R.A.; BEXAIRA, K.P.; SAVEGNAGO, C.; NORA, M.D.; PAULA, L.S.; AREVALO, E.S.; BÁEZ, M.S.A.; PES, L.Z.; STRECK, N.A.; ZANON, A.J. **Ecofisiologia da soja: visando altas produtividades**. 2.ed. Santa Maria-RS, 2022. 432p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil – 2009 e 2010. Londrina/PR: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262p. (Sistema de Produção / Embrapa Soja, n. 13).

Tecnologias de Produção de Soja. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p. - (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, n. 17).

TRIGOLO, A.L.M.; QUAREZEMIN, M.A.K.; SILVA, R.P.C.; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F.A. de; FOLONI, J.S.S.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de. Marcha de acúmulo de macronutrientes por cultivares de soja com tecnologia RR e INTACTA. In: **VII CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA-MERCOSOJA 2015**.

VIEIRA, J.L.V.; NARDI, K.T.; SILVA, G.R.A.; MOREIRA, L.A.; ZAVASCHI, E.; MOURA, T.A.; OTTO, R. Nutrient Uptake by High-Yielding Cotton Crop in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 42, 2018.

VITTI, G. C. & TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade de soja. Informações Agronômicas. Piracicaba, **POTAFÓS**, 2000. 16p. (Encarte Técnico, 90).

ZANON, A.J. **Crescimento, desenvolvimento e potencial de rendimento de soja em função do tipo de crescimento e grupo de maturidade relativa em ambiente subtropical**. Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2015.

ZOBIOLE, L.H.S.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; KREMER, R.J.; MOREIRA, A.; ROMAGNOLI, L.M. Acúmulo de nutrientes em soja convencional e soja RR em diferentes tipos de controle de planta daninha. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 1, p. 75-85, 2012.