



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
TOCANTINS  
CAMPUS ARAGUATINS  
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

**WEMERSON SILVA DE SOUZA**

**BENEFÍCIOS DO USO DO SILÍCIO NA CULTURA DA SOJA**

**ARAGUATINS**

**2021**

**WEMERSON SILVA DE SOUZA**

**BENEFÍCIOS DO USO DO SILÍCIO NA CULTURA DA SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal do Tocantins – *Campus Araguatins*, como exigência à obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Samuel de Deus da Silva

**ARAGUATINS  
2021**



Ministério da Educação  
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins  
Campus Araguatins

Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica

## FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “**BENEFÍCIO DO SILÍCIO NA CULTURA DA SOJA**”

AUTOR: **Wemerson Silva de Souza**

ORIENTADOR: **Prof. Dr. Samuel de Deus da Silva**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Araguatins*, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Bacharelado em Agronomia.

Aprovado em 23 de Junho de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Samuel de Deus da Silva, Servidor**, em 23/06/2021, às 14:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Geslanny Oliveira Sousa, Usuário Externo**, em 23/06/2021, às 14:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leandro Oliveira Campos, Servidor**, em 23/06/2021, às 14:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ifto.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_confirir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ifto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_confirir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1316852** e o código CRC **9910AF49**.

---

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

---

S719b Souza, Wemerson Silva de  
Benefícios do uso do silício na cultura da soja / Wemerson Silva  
de Souza. – Araguatins, TO, 2021.  
45 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins,  
Campus Araguatins, Araguatins, TO, 2021.

Orientador: Dr. Samuel de Deus da Silva

1. Qualificação. 2. Tecnologia. 3. Produtividade. I. Silva, Samuel  
de Deus da. II. Título.

**CDD 630**

---

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

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

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a todas as pessoas que acreditaram em mim. Pessoas que de maneira direta ou indireta contribuíram para que esse momento se concretizasse. Pessoas que mesmo estando longe me fizeram acreditar que jamais devemos desistir.

Dedico também a minha mãe, meus irmãos, amigos e alguns da equipe do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins – *Campus Araguatins* por todo apoio.

## **AGRADECIMENTOS**

A agronomia sempre fez parte da minha vida, começou com um garotinho de família humilde em um pequeno povoado no interior do estado do Pará, mas só quando “entrei” na então sonhada faculdade foi que a paixão por esta área grudou em mim. E deste sentimento nasceu um grande amor pelo curso que está prestes a se tornar uma grande conquista, quem diria que aquele menino estaria aqui agora?! Há tanto o que agradecer.

Quero começar agradecendo aquele garotinho que apesar de tudo nunca desistiu, a minha mãe Maria Vanes que não media esforços para me ajudar.

A família de coração que Araguatins me deu, Nathalia Lima e Rosa Libanio, por todas as oportunidades, carinho, acolhimento e apoio.

Ao Vinicius Vilela que mesmo chegando no meio dessa trajetória universitária, fez uma enorme diferença, me dando confiança, e força para seguirem frente.

Aos meus amigos, principalmente à Weslla, Arianna, Karolline, Ana, Jezebel, Danilo, Mayara, Lohana, Emanuelle e Keize que tornaram os “dias de luta” mais leves.

Aos professores pelo conhecimento transmitido, em especial à Geslanny Sousa e ao Samuel de Deus pelas orientações e contribuições para a melhoria deste trabalho.

*“A conquista do supérfluo provoca  
uma excitação espiritual superior a  
conquista do necessário”.*

(Gaston Bachelard)



## RESUMO

A soja (*Glycine max*), é uma planta manifesta e cultivada no oriente há mais de cinco mil anos. Para o desenvolvimento dessa cultura, é imprescindível que ela esteja adequadamente nutrida. Diante disso, o objetivo do presente trabalho é destacar a importância do uso do silício na cultura da soja, bem como seus benefícios para o crescimento e desenvolvimento mais adequado desta cultura. Esse estudo foi concretizado no contexto de uma revisão de literatura, que nesta aparência, foi empregada em etapas. Foram examinados múltiplos arquivos entre artigos científicos, monografias e publicações sobre o contexto selecionado nas bases de dados da plataforma da Revista Ciência Agronômica, Google Acadêmico, Revista Brasileira Ciência do Solo, Web Artigos, e nas bases de dado Scielo Brasil. Perante isso, para a busca dos arquivos foram usados os seguintes termos: “benefícios do silício”, “o que é silício e qual seus benefícios” “silício na cultura da soja”, “como o silício age nas plantas”. Portanto, o silício é um elemento que está despertando muito interesse entre os técnicos e agricultores, pelos inúmeros benefícios que promove às culturas, incluindo aumentos na produtividade e na resistência a estresses bióticos e abióticos, tais como uso exagerado de metais pesados, carência hídrica e doenças fúngicas. Quando se adiciona um nutriente ao solo, via adubação, ocorrem reações químicas que podem decompor, para mais ou para menos, os teores disponíveis de outros elementos. O caso do silício é atraente, uma vez que advêm interações com vários elementos que beneficiam a nutrição da planta.

**Palavras-chave:** Qualificação. Tecnologias. Produtividade

## ABSTRACT

Soybean (*Glycine max*) is a plant manifested and cultivated in the Orient for over five thousand years. For the development of this culture, it is essential that it is properly nourished. Therefore, the objective of this work is to highlight the importance of using silicon in the soybean crop, as well as its benefits for the more adequate growth and development of this crop. This study was carried out in the context of a literature review, which, in this appearance, was used in stages. Multiple files were examined, including scientific articles, monographs and publications on the selected context in the databases of the Revista Ciência Agronômica platform, Google Academic, Revista Brasileira Ciência do Solo, Web Artigos, and the Scielo Brasil databases. In view of this, the following terms were used to search the archives: “benefits of silicon”, “what is silicon and what are its benefits” “silicon in soybean crops”, “how silicon acts on plants”. Therefore, silicon is an element that is arousing much interest among technicians and farmers, due to the numerous benefits it promotes to crops, including increases in productivity and resistance to biotic and abiotic stresses, such as the exaggerated use of heavy metals, water shortage and fungal diseases. When a nutrient is added to the soil, via fertilization, chemical reactions occur that can decompose, more or less, the available levels of other elements. The case of silicon is attractive, since interactions occur with various elements that benefit the plant's nutrition.

**Key words:** Qualification. Technologies. Productivity

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CONAB – Companhia Nacional de Desenvolvimento

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ERRO- Enzimas Reativas de Oxigênio

MIP- Manejo Integrado de Pragas

SI – Silício

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Mercado de soja .....</b>	<b>14</b>
3.1.1	Origem e difusão.....	15
3.1.2	A Cultura de soja no Brasil.....	18
3.1.3	Exigências climáticas.....	20
3.1.3	Morfologia.....	21
<b>4</b>	<b>SILÍCIO .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Fontes de Silício .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2</b>	<b>Silício no solo .....</b>	<b>25</b>
<b>4.3</b>	<b>Silício nas plantas .....</b>	<b>27</b>
<b>4.4</b>	<b>Silício e o estresse abiótico.....</b>	<b>29</b>
<b>4.4</b>	<b>Benefícios do Silício.....</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>SILÍCIO NA CULTURA DA SOJA .....</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>37</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*), é uma planta manifesta e cultivada no oriente há mais de cinco mil anos. O advento da soja no Brasil foi por meio dos Estados Unidos onde em 1882, Gustavo Dutra conseguiu realizar os primeiros estudos e assim como nos Estados Unidos a soja era avaliada como uma planta de caráter forrageiro e só em alguns casos, os grãos eram utilizados para alimentação dos animais. O primeiro relato de cultivo de soja no Brasil foi no ano de 1914 no município de Santa Rosa- RS (EMBRAPA, 2004).

A soja é denominada como uma planta herbácea compreendida na classe dicotyledoneae, ordem rosales, família leguminosae, subfamília das Papilionoideae e gênero *Glycine*. É uma planta com ampla variabilidade genética tanto no ciclo vegetativo quanto no reprodutivo, que é também influenciada pelo meio ambiente. Seus ciclos são bem variáveis, no Brasil tem ciclos entre 100 e 160 dias, podem também ser consideradas por grupos de maturação, como precoce, semiprecoce, médio, semitardio e tardio (BORÉM, 2005).

Na safra 2018/2019, há uma avaliação de crescimento de 1,9% em relação à área da safra passada, chegando a 35.821,4 mil de hectares, com uma estimativa de produção de aproximadamente 115,3 milhões de toneladas, com uma produtividade de 3.322 kg por hectare (CONAB, 2019).

Nas últimas décadas houve expressivo acréscimo da oferta de tecnologias de produção, que consentiram expandir significativamente a área e a produtividade da oleaginosa (USDA, 2018). A agricultura contemporânea exige o uso adequado de insumos, de modo a receber critérios econômicos e, ao mesmo tempo, conservar o solo, permitindo manter ou elevar a produtividade das culturas (PHILIPPSEN E SIMONETTI, 2010). Um elemento muito utilizado atualmente e que ainda demanda muitas pesquisas para esclarecer suas benfeitorias é o silício (Si) (SOUSA et al., 2010).

Para o desenvolvimento dessa cultura, é imprescindível que a mesma esteja adequadamente nutrida. No que se refere a isso, o silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre com 27% em massa excedida apenas pelo oxigênio, e por ter elevada afinidade com o oxigênio ele só é encontrado em formas ajustadas como sílicas e minerais silicatados (SRIPANYAKORN et al, 2005). O uso do silício

também tem sido muito favorável no manejo de pragas, pois, sabe-se também que um dos principais problemas apontados pelos produtores é a ocorrência de pragas e doenças e seu efeito na produção final, o qual eleva o custo de produção principalmente quanto ao uso de fungicidas e inseticidas. Perante isso, algumas alternativas têm sido utilizadas para tornar mínimo esses custos, dentre elas destaca-se a aplicação de Silício (Si) via solo ou foliar.

Os países nos quais a adubação silicatada é empregada de forma mais intensa são o Japão, EUA, África do Sul e China. Os principais efeitos adquiridos até o momento estão envolvidos com as culturas do arroz, cana-de-açúcar, pastagens e milho, as quais acumulam maiores quantidades de Si nos tecidos. No entanto, pouco se conhece sobre o efeito do Si em soja, cultura estimada como mediadora na capitalização de Si. No Brasil existem locais em que já foram concretizadas análises de solos para averiguar o teor de silício e segundo Korndorfer et al. (2004) o teor de silício solúvel é espontaneamente adequado ao teor de argila presente no solo.

Diante disso, o objetivo do presente estudo é destacar a importância do uso do silício na cultura da soja, bem como seus benefícios para o crescimento e desenvolvimento mais adequado desta cultura.

## 2 METODOLOGIA

A sugestão metodológica desse estudo compôs-se numa abordagem qualitativa, pois é a técnica que mais se aborda o objeto de estudo, consentindo a obtenção de dados descritivos mediante contato direto e interativo com o observado. Esse estudo foi concretizado no contexto de uma revisão de literatura, que nesta aparência, foi empregada em etapas. A primeira delas foi a finalidade e análise das fontes de estudo, onde elas providenciaram todas as respostas adequadas ao estudo, com argumentos e questões que defendiam e esclareceram abertamente todos os pontos indispensáveis para alcançar o alvo da proposta.

Foram examinados múltiplos arquivos entre artigos científicos, monografias e publicações sobre o contexto selecionado nas bases de dados da plataforma da Revista Ciência Agrônômica, Google Acadêmico, Revista Brasileira Ciência do Solo, Web Artigos, e nas bases de dados Scielo Brasil. Foram aproveitadas também algumas colocações de sites confiáveis relacionados ao tema e outros relacionados com a natureza da pesquisa.

O método de construção do conhecimento é viabilizado pelo conhecimento científico que envolve exercícios conexos com a produção, dispersão e uso do conhecimento se distendendo no conceito inicial da pesquisa até os resultados colhidos durante o trabalho. Perante isso, para a busca dos arquivos foram usados os seguintes termos: “benefícios do silício”, “o que é silício e qual seus benefícios” “silício na cultura da soja”, “como o silício age nas plantas”.

Todos os artigos que não tinham relação com o tema foram rejeitados, para contorno das sugestões e futura apresentação e entrega do trabalho foram utilizados somente os que mais se encaixavam com o perfil do campo de estudo. Após diversas investigações e pesquisas enfim a revisão foi concluída e o objetivo foi alcançado.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Mercado de soja

A soja é a mais extraordinária oleaginosa cultivada no mundo. Da Considerando a produção mundial das principais oleaginosas, a soja contribui com mais de 50%. Apesar disso, embora o óleo seja um formidável produto, os principais encarregados pelo crescimento da produção de soja têm sido os seus farelos proteicos, dada sua relação direta com a produção e a ingestão de carnes. O farelo proteico é o produto mais barato por unidade de proteína, haja vista, sua participação na dieta alimentar animal, especialmente, de suínos e aves (SMIDERLE, 2019).

A produção mundial de soja foi de 336,7 milhões de toneladas em 2018. O Brasil passa a existir como o segundo maior produtor, com 34,8% desse total, com produtividade média da ordem de 3.333 kg há<sup>-1</sup>. Os estados brasileiros com maior produção em 2018 foram Mato Grosso, com 31,88 milhões de toneladas, Paraná, com 19,07 milhões de toneladas, e Rio Grande do Sul, com 16,96 milhões de toneladas. O Estado de Roraima aparece na relação dos produtores de grãos como área de contorno agrícola onde a soja é plantio atual. Em 2018 foram plantados 38.200 hectares, com produtividade média considerada de 3.077 kg há<sup>-1</sup> e estimativa de desenvolvimento tanto da área plantada como em produtividade. Estima-se que, em 2019, haja crescimento, tanto na área plantada como na produtividade de pelo menos 10% (CONAB, 2018).

Ainda conforme Conab (2018) existem em Roraima, aproximadamente, 1,0 milhão de hectares de área líquida (já retiradas as APPs e Reserva Legal) aptos para o cultivo da soja, disseminados nos municípios de Bonfim, Cantá, Boa Vista, Alto Alegre e Amajari, todos na região de cerrados, onde a cultura apresenta potencialidade alta de produtividade, ciclo entre 75 e 110 dias e produção na entressafra brasileira. A posição estratégica do Estado consente o escoamento da produção, por via rodoviária, para a Venezuela (Puerto Ordaz, 700 km; Puerto La Cruz, 1.200 km) e, para o estado do Amazonas (Porto de Itacoatiara, 1.000km de Boa Vista). A partir destes portos consegue-se ter acesso aos mercados regional e internacional por via fluvial e/ou marítima.

A colheita que é efetivada nos meses de agosto e setembro se constitui em benefício competitivo, uma vez que a produção acontece na entressafra dos demais



Estados brasileiros permitindo a oferta da commodity no mercado quando, normalmente os preços estão em alta (SMIDERLE, 2019).

Para Roraima, o cultivo da soja tem relevância ímpar na inclusão das áreas de cerrado ao processo produtivo. Os solos pobres do ecossistema, melhorados pela correção do solo e pela fixação de nitrogênio realizada pela leguminosa, liberam o desenvolvimento de cultivos imediatos como os de milho, arroz, algodão, bem como a integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta. A máxima oferta de insumos agrícolas, em consequência ao cultivo da soja, precisa viabilizar outros segmentos produtivos, como a fruticultura, a piscicultura, a pecuária bovina e a criação de pequenos e médios animais (EMBRAPA, 2006).

### 3.1.1 Origem e difusão

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) tem como centro de origem o continente asiático, mais exatamente, a região correspondente à China Antiga. Há citações bibliográficas, segundo as quais, essa leguminosa estabelecia-se como base alimentar do povo chinês há mais de 5.000 anos (HYMOWRTZ, 1970).

Contudo, múltiplos pesquisadores que estudaram a sua origem, histórico e difusão geográfica, concordam ao afirmarem que a mais antiga referência à soja consta do herbário PEN TS' AO KANG MU como parte da obra "MATÉRIA MÉDICA" de autoria do Imperador SHEN NUNG, escrita em 2838 a.C. Nessa obra foram expostas as plantas mais importantes para os chineses. Entre elas, o arroz, o trigo, a cevada, o milho e a soja eram considerados "os cinco grãos sagrados", por serem fundamentais ao equilíbrio da civilização chinesa (CÂMARA, 1998).

Segundo a tradição, SHEN NUNG era respeitado e denominado como o pai da Medicina e da Agricultura. Como o povo era nômade, ensinou-lhes o método mais apropriado para a aração e semeadura. Dava o exemplo a seus subordinados, semeando o arroz com suas próprias mãos, como parte do programa de importante solenidade. Aos príncipes da casa real cabia a honra de cultivar as outras quatro espécies sagradas (MIYASAKA; MEDINA, 1997).

No decorrer de séculos a soja conservou-se circunscrita ao Oriente, pois inexistia a ligação nenhuma com as civilizações ocidentais. Hymowitz (1970) ponderou que a soja nasceu domesticada, durante o século XI a.C., na China. Para esse autor, a região Central da China estabelecia-se no centro primário de origem genética da soja, com a espécie ancestral *Glycine soja* que, por modificações,

abrolhou a espécie *Glycine max*, que escoltou a migração nômade por volta de 2000 a.C. em direção a região Leste da China (antiga Manchúria), mencionada como o centro secundário de origem genética da soja.

Diversos experimentos foram administrados ao longo dos anos para aperfeiçoar o trabalho de domesticação da espécie. A partir desse ponto, foi levada para outras regiões, à medida que crescia sua importância para a alimentação humana e se ativavam as ligações comerciais entre os povos orientais (MIYASAKA; MEDINA, 1997).

Desse modo, entre 200 a.C. e o século III d.C., disseminou-se para o norte da China, Coreia e Japão. Até o século XVII a venda da soja continuou limitada aos países orientais, destacando-se nesse aspecto a China, Manchúria e Japão (BLACK, 2000).

Somente após a chegada dos primeiros navios europeus no final do século XV e início do XVI, foi trazida para o Ocidente. Entre os séculos XIV e XIX, pesquisadores europeus conseguiram sementes e as espalharam para os jardins botânicos e estações experimentais da Alemanha, Inglaterra, Áustria, Holanda, Suíça, Polônia, França, Itália e Hungria. No transpassar desse momento foram desenvolvidos múltiplos estudos científicos em busca de conhecimentos sobre o desenvolvimento e a produtividade da planta (HYMOWRTZ, 1970).

Na América do Norte, foi mencionada pela primeira vez nos EUA em 1804 (Pensilvânia) como próspera planta forrageira e produtora de grãos. Após as primeiras experiências executadas em vários estados, seu potencial foi reconhecido e sua plantação recomendada a partir de 1880. Todavia, a grande extensão como cultura produtora de grãos adveio a partir de 1930. Essa expansão, em poucas décadas, foi um dos mais chocantes fenômenos da história da agricultura norte-americana. Além de sua característica como alimento, a possibilidade de colheita mecanizada foi fator determinante para o acelerado crescimento de seu cultivo (BLACK, 2000).

A soja foi adentrada no Brasil por Gustavo D'Utra, na Bahia em 1882, sem sucesso. Em São Paulo, foi cultivada pela primeira vez por Daffert, em 1892, no Instituto Agrônomo de Campinas. Melhores resultados foram alcançados por imigrantes japoneses, a partir de 1908 e, em 1923, quando Henrique Löbbe trouxe cerca de cinquenta variedades norte-americanas. Nas décadas consecutivas, foi estudada em algumas instituições oficiais e cultivada, em pequenas áreas, para a

alimentação de famílias de imigrantes japoneses. Em 1914, no estado do Rio Grande do Sul, foi cultivada e estudada pelo Prof. E. Craig, na antiga Escola Superior de Agronomia e Veterinária da Universidade Técnica, predecessora da atual Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Nesse Estado, a cultura proporcionou evolução mais sólida e, em 1949, cerca de 18 mil toneladas constituíram a primeira exportação brasileira de soja. Por outro lado, o Estado do Paraná, recentemente grande produtor dessa leguminosa, iniciou seu cultivo em 1954, em substituição aos cafezais dizimados por fortes geadas (MIYASAKA; MEDINA, 1977).

À medida que se examinavam as extraordinárias probabilidades para a cultura no sul do País, intensificaram-se os estudos. A produção foi estimulada nos anos 1960/70 com o começo do cultivo sucessivo trigo/soja. Assim, de uma participação de apenas 0,5% da produção mundial em 1958, o Brasil atingiu 16% em 1976 e, atualmente, produz em torno de 30% do volume mundial de grãos de soja. Isto somente foi permitido graças ao alto valor da soja no mercado internacional e ao profundo trabalho de experimentação sobre os mais variáveis feitos da cultura, desenvolvido por instituições nacionais de pesquisa. Por conseguinte, agricultores conseguiram abranger produtividades agrícolas conferíveis aos adquiridos nos países de maior tradição no cultivo da soja (HYMOWRTZ, 1970).

Nos anos 70 e 80, foi expressivo o crescimento da cultura da soja na região do Brasil Central, compreendendo os estados de MS, MT e GO. A abertura dos solos sob vegetação de Cerrado harmonizou o crescimento em área e em produtividade de distintas culturas, principalmente soja, tomate, banana, cana-de-açúcar e milho. Porém, dentre estas, foi a soja quem mais cresceu em área de cultivo.

Esse rápido crescimento foi incitado pelos altos preços cometidos no mercado internacional no período 1969-77. A estes bons preços soma-se a evolução da tecnologia nacional de produção, que ao possibilitar metodologias de produção e cultivares mais adaptados às condições do Brasil Central, contribuíram para a expansão da área cultivada com soja durante o período 1977-85 (IGREJA et al., 1988). À medida que a área cultivada com soja aumentou, outras culturas exibiram crescimento negativo. Como exemplo, no Estado de Goiás, culturas como amendoim, mandioca, algodão, laranja, arroz, feijão, café e cana-de-açúcar perderam espaço para a cultura da soja. Dessas, somente café e cana-de-açúcar conseguiram

readquirir parte da área cultivada, em função da política econômica mais oportuna às culturas de exportação e para fins energéticos (IGREJA et al., 1988).

Hoje, a soja é produzida, praticamente, em todo território nacional, desde as elevadas latitudes gaúchas até as baixas latitudes equatoriais tropicais, exibindo em muitas regiões, produtividades médias superiores à média alcançada pela soja norte-americana. Esse nível de produtividade tem sido admissível, por causa do uso de cultivares adequadamente adaptadas à região tropical, que proporciona elevada incidência de luz, temperaturas adequadas e precipitação intensa e relativamente bem difundida no decorrer do ciclo fenológico da soja, além da apropriada construção da fertilidade do solo, adubação equilibrada, evolução do sistema de plantio direto e adoção de práticas de manejo que visam a obtenção de alta produtividade (MIYASAKA; MEDINA, 1977).

### 3.1.2 A Cultura de soja no Brasil

No Brasil, o primeiro relato sobre o aparecimento da soja por meio de seu cultivo é de 1882 no estado da Bahia, em seguida, foi levada por imigrantes japoneses para São Paulo, e somente, em 1914, a soja foi adentrada no estado do Rio Grande do Sul, sendo este por fim, o lugar onde as multiplicidades trazidas dos Estados Unidos, melhor se adaptaram às condições edafoclimáticas, especialmente em relação ao fotoperíodo (BLACK, 2000).

A implantação de programas de melhoramento de soja no Brasil permitiu o desenvolvimento da cultura para as regiões de baixas latitudes, por meio do desenvolvimento de cultivares mais ajustados através da anexação de genes que adiam o florescimento mesmo em condições de fotoperíodo indutor, conferindo a propriedade de período juvenil longo. O trabalho desses programas de melhoramento nesses últimos anos vem alargando novos cultivares com elevada constância e adequabilidade, os quais proporcionam caracteres agronômicos almejáveis e alta produtividade de grãos para as regiões produtoras no território brasileiro (YORINORI et al., 2002).

A cultura da soja tem sido invadida por múltiplas pragas, as quais podem acontecer no transcorrer todo o seu ciclo. O controle das principais pragas da soja deve ser feito baseado nos princípios do “Manejo Integrado de Pragas - MIP”, os quais versam as tomadas de decisões de controle com base no coeficiente de ataque, no

número e dimensão dos insetos pragas e no estágio de desenvolvimento da soja (VENCATO et al., 2010).

O ataque do complexo de pragas pode acarretar diversos danos econômicos, como o ataque das lagartas na cultura da soja causa a redução da área foliar fotossintética e pode advir durante todo o desenvolvimento da planta. A lagarta falsa-medideira alimenta-se das folhas e não aniquila as suas nervuras, o que confere às mesmas uma aparência rendilhada.

No “Manejo Integrado de Pragas” (MIP), deve-se empregar a integração de diferentes artifícios de controle, entre eles o de controle biológico de pragas, no qual os organismos presentes no agroecossistema da soja, e de ocorrência natural, fazem jus a atenção como é o caso dos parasitóides de ovos de percevejos: *Trissolcus basalís* e *Telenomus podisi* e do fungo *Nomuraea rileyi* (Farlow Sanson), formidável agente regulador da população de lagartas (YORINORI et al., 2002).

A conquista na extensão da leguminosa no território brasileiro aconteceu também pelo desenvolvimento de variedades resistentes a algumas doenças que atingem a cultura. Há cerca de 40 doenças que afetam a cultura, das mais diversificadas etiologias. A Mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina*) surgiu em 1980 e foi a primeira doença a causar danos severos na soja. Nos anos 90, o Cancro-da-haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*); Nematóide do Cisto da Soja (*Heterodera glycines*) e o Oídio (*Erysiphe diffusa*), provocaram perdas expressivas na produção (VENCATO et al., 2010).

Conforme Yorinori et al., (2002), na safra 2000/01 foi descrito pela primeira vez a ocorrência de Ferrugem Asiática da Soja (*Phakopsora pachyrhizi*) em lavouras comerciais de soja. Na safra 2002/03, a doença espalhou-se em praticamente todas as regiões de produção, concebendo uma intimidação para a cultura em função dos prejuízos causados (perdas de até 70% na produtividade) e do acréscimo de custo de produção para seu controle.

Na safra 2011/12 já estavam à disposição da classe produtora, 5 variedades de soja resistentes ao fungo *Phakopsora pachyrhizi*, causador da Ferrugem Asiática da Soja, sendo quatro variedades desenvolvidas pela Tropical Melhoramento e Genética (Soja Inox), das quais duas cultivares são convencionais (TMG 801 e TMG 803) e 2 cultivares transgênicas (TMG 7161RR e TMG 7188RR) e 1 variedade convencional (BRSGO 7560) da parceria da Empresa Brasileira de Pesquisa

Agropecuária (Embrapa), Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Seagro) do estado de Goiás e com o Centro Tecnológico para Pesquisas Agropecuária (CTPA).

Apesar disso, dentre os grandes produtores mundiais (Estados Unidos o maior produtor, Brasil na segunda posição e em terceiro a Argentina), o Brasil exibe a maior competência de multiplicar a atual produção, tanto pelo aumento da produtividade, quanto pelo potencial de expansão da área cultivada (VENCATO et al., 2010).

### 3.1.3 Exigências climáticas

A água constitui aproximadamente 90% do peso da planta, operando em, praticamente, todos os processos fisiológicos e bioquímicos. Exerce a função de solvente dos gases, minerais e outros solutos que entram nas células e movem-se pela planta. Apresenta, ainda, papel importante na regulação térmica da planta, agindo tanto no resfriamento como na conservação e distribuição do calor (EMBRAPA, 2006).

A disponibilidade da água é formidável, principalmente, em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração e enchimento de grãos. No decorrer do primeiro período, tanto o abuso como a falta de água são danosos à aquisição de uniformidade na população de plantas. A semente de soja carece de absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para garantir boa germinação. Nesta fase, o conteúdo de água no solo não deve extrapolar a 85% do total de água disponível nem ser inferior a 50% (HUNGRIA et al., 2001).

Outro fator de grande seriedade na produção agrícola é a temperatura, que atua diretamente em todas as fases da cultura, ou seja, processos de germinação, crescimento, floração, frutificação, bem como na respiração, fotossíntese e na assimilação de água e nutrientes. As condições ótimas de temperatura para a cultura da soja estão entre 20°C e 30°C, sendo 30°C a temperatura ideal para seu desenvolvimento. A faixa de temperatura do solo apropriada para semeadura varia de 20°C a 30°C, sendo 25°C a temperatura ideal para rápida e uniforme emergência das plântulas (EMBRAPA, 2006).

O crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo em temperaturas menores ou iguais a 10°C. Temperaturas acima de 40°C têm efeito trabalhoso na taxa de desenvolvimento, estimulam danos na floração e atenuam a capacidade de

retenção de vagens. Estes problemas se acentuam com a ocorrência de déficits hídricos (GIANLUPPI, SMIDERLE, 2001).

A floração da soja somente é distorcida quando ocorrem temperaturas acima de 13°C. As contestações de data de floração, entre anos, apresentadas por uma cultivar semeada numa mesma época, são por causa das modificações de temperatura. Assim, a floração precoce é devida, sobretudo, à ocorrência de temperaturas mais elevadas, podendo ocasionar redução na altura de planta. Este problema pode ser agravado se, paralelamente, acontecer escassez hídrica e/ou fotoperiódica durante a fase de crescimento. Contestações de datas de floração entre cultivares, numa mesma época de semeadura, são devidas, principalmente, às respostas destas ao comprimento do dia (fotoperíodo) (MARSARO JÚNIOR, 2008).

A maturação pode ser rápida por acontecimento de altas temperaturas. Quando vêm conexas a períodos de elevada umidade, as altas temperaturas colaboram para atenuar a qualidade das sementes e, quando anexas a condições de baixa umidade, preparam as sementes a danos mecânicos no período da colheita. Temperaturas baixas na fase da colheita, conexas a período chuvoso ou de alta umidade, podem importunar atraso na data de colheita, bem como haste verde e retenção foliar (MEYER; MAIA, 2003).

### 3.1.3 Morfologia

A soja (*Glycine max* (L) Merrill) cultivada no Brasil, para a produção de grãos, é uma planta herbácea, da classe Rosidae, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae, gênero *Glycine* L., espécie max. As principais variedades comerciais exibem caule hispido, pouco ramificado e raiz com eixo principal e muitas ramificações. Possuem folhas trifolioladas (exceto o primeiro par de folhas simples, no nó acima do nó cotiledonar). Têm flores de fecundação autógama, típicas da subfamília Papilionoideae, de cor branca, roxa ou intermediária. Desenvolvem vagens (legumes) levemente arqueadas que, à medida que amadurecem, evoluem da cor verde para amarelo-pálido, marrom-claro, marrom ou cinza, e que podem conter de uma a cinco sementes lisas, elípticas ou globosas, de tegumento amarelo pálido, com hilo preto, marrom ou amarelo-palha. Apresentam crescimento indefinido (sem racemo terminal), determinado (com racemo terminal) ou semideterminado (intermediário) (EMBRAPA, 2006).

A estatura das plantas modifica, dependendo das condições do ambiente e da variedade (cultivar). A estatura ideal está entre 60 e 110 cm, o que, em lavouras comerciais, pode facilitar a colheita mecânica e evitar o acamamento. O ambiente também influencia sua floração e, conseqüentemente, seu ciclo. A floração da soja responde ao nictoperíodo, ou constância da noite. Para facilitar a compreensão, normalmente fala-se em fotoperíodo, que é a duração do dia, e diz que a soja é uma planta de dias pequenos, logo que, sob dias extensos, ela adia seu florescimento e estende seu ciclo (SOUSA; LOBATO, 2004).

Com o uso da característica do florescimento tardio em dias curtos, ou do chamado “período juvenil comprido”, não há mais restrição fotoperiódica ao plantio comercial de soja, mesmo sob a linha do equador, o que rendeu ao Brasil o título de país que “tropicalizou” a soja. As cultivares brasileiras de soja são consideradas em grupos de maturação (GM), com base no seu ciclo. Essa classificação modifica segundo a região, por exemplo, para Minas Gerais, os GM são: semiprecoce (101 a 110 dias); médio (111 a 125 dias); semitardio (125-145 dias); tardio (>145 dias) e, no Paraná, são: precoce (até 115 dias); semiprecoce (116-125 dias); médio (126-137 dias) e semitardio (138-145 dias) (EMBRAPA, 2006).

O melhoramento de cultivares de soja ajustadas e produtivas tornou viável o cultivo da soja em todas as regiões geográficas do Brasil. Hoje em dia se cultiva soja desde o extremo sul da região sul, onde acontecem elevadas latitudes, até o extremo norte da região norte onde ocorrem latitudes próximas a zero graus. Graças a existência dessas cultivares o Brasil atingiu o patamar de segundo maior produtor mundial de grãos de soja e, o Cerrado de Roraima passou a fazer parte da área plantada com a cultura (MARSARO JÚNIOR, 2008).

As cultivares geneticamente melhoradas, portadoras de genes capazes de expressar alta produtividade, extensa adequação e boa resistência/ tolerância a fatores bióticos ou abióticos adversos, representam comumente um dos mais significativos subsídios à eficácia da sojicultura. O ganho genético proporcionado pelas novas cultivares ao setor produtivo tem sido constantemente maior que 1,3% ao ano (ZAMBOLIN, 2005).



## 4 SILÍCIO

O silício (Si), segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, apesar de não ser estimado um elemento indispensável às plantas - pelo fato de não atender aos critérios diretos e indiretos de essencialidade, tem se mostrado relevante para as mesmas, por apresentar uma série de resultados benéficos, ajudando no crescimento e produção das plantas. Está mais presente em solos jovens, como os Cambissolos, e sua origem está espontaneamente pertinente ao grau de intemperismo dos mesmos (EPSTEIN e BLOOM, 2005).

O elemento é considerado como benéfico ou vantajoso para as plantas, não sendo definitivamente imprescindível no sistema para que seja completado o ciclo vegetal. Contudo, estudos confirmam a eficácia do elemento tanto na melhoria de aspectos relacionados à morfologia e estruturação, quanto ao extenso do ciclo de desenvolvimento das plantas, especialmente àquelas acumuladoras de Si, como gramíneas, onde estudos aferindo seu efeito vêm sendo mais fortemente realizado. Porém, plantas leguminosas vêm, também, tomando espaço nas pesquisas (SORATTO et al., 2012).

Por outro lado, conforme os estudos de Epstein e Bloom (2005), o Si cumpre o segundo dos critérios da nova definição de essencialidade dos nutrientes, neste, a planta pode ser tão severamente particular ao ambiente que ela expõe anormalidades em seu crescimento, desenvolvimento ou reprodução, ou seja, sua performance em comparação com plantas não particulares”, recomendando que este nutriente pode ser estimado de grande importância para o desenvolvimento de uma gama de culturas, sobretudo as gramíneas, consideradas plantas acumuladoras de Si: arroz, trigo, cana-de-açúcar, dentre outras.

Implicações relacionados à força do elemento podem ser ressaltados nos solos mediante a aplicação de materiais silicatados, os quais operam positivamente sobre a correção da acidez do solo, neutralização do H e Al tóxicos, além do intercâmbio com outros nutrientes, acrescentando a centralização dos mesmos na solução do solo, possibilitando uma maior disponibilidade e assimilação pela planta, como é o caso do fósforo. Nas plantas, pode-se relacionar a presença do elemento à maior resistência ao acamamento, redução do ataque por pragas e doenças (por conta de adulterações na anatomia da planta, como a formação de células epidérmicas mais grossas e maior grau de lignificação e/ou silicificação), maior

contestação a condições adversas, motivadas por situações de estresse biótico e abiótico, como menor resultado deletério provocado pela geada, menor taxa de evapotranspiração (em situações de déficit hídrico), favorecimento de nodulação em leguminosas, intensificação da atividade de enzimas, decorrências na conciliação mineral (MALAVOLTA, 2006).

Além disso, devido ao acúmulo de Si na epiderme das folhas, o elemento é capaz de acionar genes envolvidos na produção de compostos secundários do metabolismo, como polifenóis e enzimas pertinentes aos mecanismos de defesa das plantas, como as Enzimas Reativas de Oxigênio (ERO) (GRATÃO et al., 2005).

Vários estudos têm comprovado efeitos benéficos da aplicação de Si, especialmente em culturas como arroz, aveia-branca, cana-de-açúcar, cevada, feijão, milho, pastagens, sorgo, soja e trigo (MA et al., 2001; GONG et al., 2005; HATTORI et al., 2005; CASTRO et al., 2011; SORATTO et al., 2012; CASTRO E CRUSCIOL, 2013A; CASTRO E CRUSCIOL, 2013B; CRUSCIOL et al., 2013; TOLEDO et al., 2013), compreendendo culturas acumuladoras e não-acumuladoras desse elemento. Porém, o Si ainda é um elemento pouco conhecido e utilizado na agricultura brasileira.

#### **4.1 Fontes de Silício**

O silício ocupa cerca de 27% em massa da crosta terrestre e é formidável no desenvolvimento dos solos. A maior parte do silício acontece como forma insolúvel, tais como o quartzo, feldspato, mica e augita. Entre esses minerais, o feldspato é que sofre um processo de intemperização mais rápido, sendo a principal fonte de silício disponível para as plantas na solução do solo, na forma de ácido silícico ( $H_4SiO_4$ ). As fontes de silício comercialmente usadas na agricultura são os metassilicatos de sódio e de potássio (preferidos em cultivos hidropônicos e aplicações foliares, em consequência à alta solubilidade) e ácido silícico (MA e YAMAJI, 2006).

Um número amplo de materiais tem sido aproveitado como fonte de Si para as plantas, que são escórias de siderurgia, Wollastonita, subprodutos (escórias) da produção de P elementar em fornos elétricos, metassilicato de cálcio, metassilicato de sódio, cimento, termofosfato, silicato de magnésio, silicato de cálcio etc. Os resíduos básicos de siderurgia (silicatos de cálcio e magnésio), livres de metais densos, compõem excelentes fontes de silício a baixo custo e, na maioria das vezes, localizadas de forma ardilosa para microrregiões agrícolas, com ênfase para o

plausível uso como corretivos do solo, devido à sua. Os resíduos silicatados apresentam baixa solubilidade em pH alto, todavia, tem valor neutralizante em solos ácidos, podendo ser empregados como corretivo em longo prazo. A wollastonita (silicato de cálcio natural) é frequentemente empregada em trabalhos de pesquisa que envolvem silício, por ser livre de contaminantes, como o ferro e o fósforo (RODRIGUES, 2000).

As principais formas de Si presentes no solo, do ponto de vista agrônomo, são: os minerais silicatados (cristalinos e amorfos); o Si solúvel ( $H_4SiO_4$ ), que desprovido de carga elétrica tem interessantes consequências na conduta do Si com relação aos vegetais; o Si adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio (SORATTO e CRUSCIOL, 2008).

O ácido silícico é a única forma disponível de silício para as plantas, todavia, vários fatores podem influenciar os seus teores no solo (REIS et al., 2007). Os principais fatores que expandem a disponibilidade de silício no solo são: adição de fertilizantes silicatados, água de irrigação, dissolução de ácido silícico polimérico, liberação de silício dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, dissolução de minerais cristalinos e não-cristalinos e decomposição de resíduos vegetais. Os principais drenos são: absorvimento pelas plantas, desenvolvimento de polímeros de silício, lixiviação, desenvolvimento de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e formação de minerais cristalinos.

Solos tropicais e subtropicais, que são sujeitos à intemperização com os cultivos consecutivos, tendem a apresentar baixos níveis de Si trocável, podendo ser de 5 a 10 vezes menores que os encontrados nos solos das regiões temperadas. É o caso de regiões agrícolas favoráveis ao cultivo, como o Centro-Oeste brasileiro (cerrado), pobre em silício devido à dessilificação, que versa a abscisão do silício durante a meteorização das rochas. Esses solos, geralmente, apresentam baixo pH, alto teor de Al, baixa saturação por bases e alta aptidão de fixação de P, além de uma atividade microbiana diminuída (CASTRO, 2009).

## **4.2 Silício no solo**

Estimado um dos principais constituintes dos argilo-minerais no processo de formação dos solos, o Si pode afetar de forma significativa o processo de nutrição das

plantas. Os solos brasileiros, por causa do elevado grau de intemperismo, exibem em média cerca de 5 a 40% de Si em suas composições (MA et al., 2001).

Elemento básico da estrutura da maioria dos argilominerais, o óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) é estimado o mineral mais abundante nos solos. Porém, em função do acelerado grau de intemperismo dos solos tropicais, o Si encontra-se, necessariamente, na forma de opala e quartzo ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Estudos efetivados em meados da década de 80 (TISDALE et al., 1985), analisaram que solos mais novos, como os Cambissolos, apresentam máximos teores do elemento; já aqueles mais intemperizados, como os Latossolos, apresentam os teores em menores concentrações.

O Si está presente no solo de distintos modos, o mesmo pode ser encontrado em minerais primários, minerais secundários, ou então, adsorvido aos coloides do material. Contudo, como já citado anteriormente, encontra-se maior concentração do nutriente na forma de ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ), disponível na solução do solo, onde a maior parte não se encontra dissociada, fato este que torna o nutriente mais prontamente livre para as plantas, levando, também, a possíveis perdas por lixiviação. Dessa forma, conclui-se que a quantidade do elemento disponível na solução do solo é diretamente dependente da constância dos minerais da fase sólida, ou seja, acontece conexão positiva entre os teores do elemento e os teores de argila no material coloidal (MEYER E KEEPING, 2001).

O elemento é absorvido de forma ativa por proteínas de membranas sintetizadas a partir de gene característico. Dessa maneira, pode-se levar em consideração que sua absorção pelas plantas pode advir ao decorrer de todo o ciclo da mesma, já que não segue um gradiente de concentração. A incidência da forma dissociada do elemento – ácido silícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) – está intimamente relacionada ao pH do solo, já que o pH da rizosfera apresenta grande influência sobre a solubilidade dos nutrientes e sua absorção pelas raízes (MA e TAKAHASHI, 2002).

Para as culturas do arroz e do milho, assim como para a maioria das plantas acumuladoras de Si, a disponibilidade do elemento no solo e sua lógica absorção pelas plantas estão intensamente relacionados ao pH do solo: quanto maior o pH, maior a disponibilidade do elemento no solo, levando, por conseguinte, à maior absorção pela planta (OLIVEIRA et al., 2007).

No Brasil, o material mais utilizado com finalidade de corrigir a acidez dos solos é o calcário, sendo este o mais barato e competente modo de se elevar o índice de eficiência do fertilizante empregado em áreas de produção de grãos. Mas, como este material é pouco solúvel e os produtos da sua reação têm mobilidade restrita, sua ação inicial normalmente fica restrita às camadas superficiais, especialmente em solos cultivados sob Sistema Plantio Direto, pela deficiência de revolvimento do mesmo (CASTRO et al., 2014). A utilização de materiais contendo Si em sua constituição para a correção da acidez é apropriada, desde que contenham um “constituente neutralizante” como óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos de cálcio e/ou magnésio.

### 4.3 Silício nas plantas

Estudos mostram que o Si é absorvido pelas plantas de preferência na forma de ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ) que, em solos com pH ácido, encontra-se em sua forma não dissociada, e com disponibilidade afetada pelo pH, temperatura, teor de matéria orgânica do solo e concentração de Si na solução (MELO et al., 2003).

Os vasos do xilema são os encarregados pelo transporte do elemento na planta, e sua repartição é espontaneamente dependente das taxas de transpiração dos órgãos. Esta distribuição modifica de acordo com a espécie analisada: ocorre de maneira constante em plantas que acumulam pouco Si, e nas acumuladoras, como o arroz (*Oryza sativa*), 90% do elemento encontra-se na parte aérea (BERNI e PRABHU, 2003).

Pode-se encontrar maior concentração de Si em tecidos apoios do caule e das folhas, e nos grãos, em baixa concentração. De toda a abundância do elemento aglomerado nas plantas, 99% encontram-se na forma de ácido silícico polimerizado, fórmula esta de difícil solubilização (PEREIRA JÚNIOR et al., 2010).

Considera-se, normalmente, que a concentração média de Si no sistema radicular seja um décimo da concentração no caule, e sua circulação dentro da planta depende das concentrações presentes na solução do solo, além da taxa transpiratória do órgão e da espécie em questão (CAMARGO et al., 2007).

As plantas podem ser classificadas de acordo com sua capacidade de absorção e acúmulo de Si nos órgãos, e esta quantificação é amplamente alterável entre as espécies. São considerados três grupos: plantas acumuladoras (entre 100 e

150 g kg<sup>-1</sup> de Si), intermediárias (10 a 50 g kg<sup>-1</sup> de Si) e não-acumuladoras (concentrações abaixo de 5 g kg<sup>-1</sup> de Si). O grupo das gramíneas, estimadas acumuladoras, absorvem Si da solução do solo de forma inativa – o elemento acompanha o fluxo de massa da água. Plantas consideradas não-acumuladoras, como as dicotiledôneas, absorvem o Si mais vagarosamente que a absorção de água, o que acaba suscitando um aumento na concentração do elemento no meio (LIANG et al., 2007).

É fato que o Si, em sua forma de sílica amorfa (Si<sub>2</sub>.nH<sub>2</sub>O), se acumula na parede celular dos órgãos de transpiração, levando, assim, à formação de uma dupla camada de sílica-cutícula e sílica-celulosa (MA e YAMAJI, 2006). Tal casta protetora apresenta relação positiva com a diminuição da transpiração pela planta (BARBOSA FILHO et al., 2001), atenuando a quantidade de água evapotranspirada ao longo do ciclo, tornando a planta menos incontestável em água e mais obstinada a possíveis situações de seca. Além de que, essa camada auxiliadora formada funciona como empecilho de resistência mecânica à invasão de fungos e bactérias para o interior da planta (BERNI e PRABHU, 2003) acrescentando, neste aspecto, a resistência pelas plantas (MELO et al., 2003).

Mesmo que não tenha sido considerado elemento imprescindível às plantas, estudos relacionam a aplicação de Si ao solo com o crescimento e aumento de produtividade das culturas, sobretudo as espécies gramíneas, consideradas acumuladoras (CASTRO, 2009).

Com objetivo de avaliar a eficiência de fontes de Si para a cultura do arroz, Ramos et al. (2008), em estudo conduzido em campo, notaram que, em checagem com as fontes Siligran e Silicon, a fonte-padrão wollastonita possibilitou melhor resposta linear sobre a disponibilidade de Si no solo e absorção pela cultura, levando, desse feito, a acréscimos nos teores do nutriente na parte aérea, casca e massa seca total. Em seus estudos, Camargo et al. (2007) também evidenciou a reação do solo sobre a disponibilidade de Si para a cultura do arroz, utilizando-se materiais silicatados (silicato de cálcio e magnésio, ácido silícico puríssimo e wollastonita), além da testemunha calcário, observou que a absorção de Si pela parte aérea da cultura foi linearmente crescente com as doses da wollastonita, acompanhada do silicato de cálcio e magnésio, ácido silícico e calcário, as quais diferem entre si de acordo com a porcentagem de Si existente no material.

Castro e Crusciol (2013b) alcançaram resultados positivos com a aplicação de silicato comparativamente à aplicação de calcário. Também, Mancuso et al. (2014) observaram que houve translocação de Si das raízes para a parte aérea de plantas de café arábica (não-acumuladoras).

Ainda, o acréscimo da competência fotossintética das plantas pode estar relacionado à presença do elemento no sistema, proporcionando melhor arranjo das folhas, tornando-as mais edificadas e mais resistentes a prováveis danos. Além disso, é clara a redução na evapotranspiração das folhas, aprimorando o aproveitamento da água disponível no solo. Estudando os efeitos do Si sobre a taxa transpiratória e condutância estomática de plantas de trigo em condições de déficit hídrico (MENECALE et al., 2015).

Gao et al. (2006) observaram significativa redução das mesmas tanto na superfície abaxial quanto na adaxial das folhas, porém tais resultados não foram observados sobre a cutícula. Tais efeitos distinguem o papel do Si na redução da taxa transpiratória das plantas, a qual pode ser largamente conferida à atividade dos estômatos. Assim, pode-se considerar como eficaz a utilização de silicato de cálcio e magnésio para correção da acidez do solo, uma vez que, com características análogas ao calcário, o material apresenta, ainda, o benefício de ser mais solúvel, atingindo maiores espessuras de correção e em menor tempo (GAO et al., 2006).

Além disso, o fornecimento de Si poderia ocasionar maior estabilidade produtiva, em razão da maior tolerância ao estresse hídrico, uma vez que a quase totalidade da produção de grãos está centrada em áreas com caso de veranicos, especialmente na região dos cerrados. Nota-se, ainda, que a maior parte dos trabalhos realizados demonstre somente o efeito da aplicação de corretivos na nutrição e produtividade das culturas, sem, contudo, verificar qual componente da produção foi modificado, haja visto que estes podem ser modificados por condições climáticas, fertilidade do solo e práticas agrícolas, refletindo na produtividade de grãos (CASTRO, 2009).

#### **4.4 Silício e o estresse abiótico**

Os efeitos positivos do Si em plantas acumuladoras, sujeitas a estresses de natureza abiótica, têm sido relativamente bem analisados (DATNOFF et al., 2001). Os ânions silicatos elevam o pH do solo, podendo fazer com que a atividade dos

elementos tóxicos seja atenuada, precipitando-os em compostos insolúveis ou formando polímeros de baixa disponibilidade para as plantas (REYNOLAS et al., 2009).

O efeito do Si na redução da toxidez de elementos potencialmente tóxicos, como o Al, pode acontecer dentro da planta por incitação do sistema de antioxidantes, complexação dos íons metálicos, imobilização destes metais no decorrer do crescimento vegetal ou compartimentação em vacúolos, citoplasma (NEUMAM e NIEDEN, 2001) ou na parede celular.

#### **4.4 Benefícios do Silício**

Há vários trabalhos nos quais pesquisou-se a redução dos efeitos tóxicos de ferro, manganês e alumínio com a utilização de silício no solo e em solução nutritiva. Alguns autores têm recomendado que o fornecimento de Si às plantas pode suavizar a toxidez de Mn e Fe não somente pela diminuição na sua absorção, mas também porque expande o nível de tolerância interna ao excesso de Mn nos tecidos. Cientistas japoneses elucidam que por causa da alta capacidade de oxidação da sílica, o Fe e Mn tóxicos diminuem a sua disponibilidade no solo. O Si aumenta o poder oxidante das raízes de arroz, beneficiando a oxidação e a deposição (precipitação) do Fe na superfície das raízes, atenuando a sua absorção pela planta e seu efeito venéfico (FERREIRA, 2006).

Os efeitos benéficos do Si têm sido demonstrados em várias espécies vegetais, notadamente quando essas plantas são submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de caráter biótico ou abiótico (FARIA, 2000).

O Si pode excitar o crescimento e a produção vegetal por meio da formação de folhas mais eretas, com a consequente diminuição do auto sombreamento; por meio da redução do acamamento; pela maior rigidez estrutural dos tecidos; pelo amparo contra estresses abióticos, tais como amenização da toxidez de Fe, Mn, Al e Na; pelo acréscimo da tolerância ao estresse hídrico e à geada; pela proteção contra estresses bióticos, tais como a redução do ataque de patógenos (doenças) e ampliação na proteção contra herbívoros, incluindo os insetos fitófagos.

O silício aumenta a rigidez das células, ou seja, as células epidérmicas ficam mais grossas e com maior lignificação e/ou silicificação (barreira mecânica). Isso poderia abranger o conteúdo de hemicelulose e lignina da parede celular, pois o



acúmulo e a deposição de Si nas células da camada epidérmica compõem uma barreira física à penetração de patógenos e ao ataque de pragas (REIS et al., 2006).

Além de estar envolvida em processos fisiológicos indispensáveis de diversas classes vegetais, a adubação silicatada pode colaborar para a resistência a diversas doenças. Efeitos promissores foram encontrados em vários patossistemas. Cita-se a redução na acuidade da brusone, mancha-pardae queima das bainhas em plantas de arroz; menor incidência de oídio em plantas de soja e gomose em citrus, quando essas culturas foram adubadas com Si (RODRIGUES, 2000).

## 5 SILÍCIO NA CULTURA DA SOJA

Os efeitos do silício em leguminosas ainda são pouco conhecidos, tanto que não é considerado um elemento indispensável para as plantas. Todavia alguns estudos falam sobre os efeitos benéficos desse elemento para a cultura da soja a qual tem sua produtividade pressionada por fatores bióticos e abióticos. Hoje em dia existem no mercado formulações comerciais que miram minimizar esses prejuízos, como fitormônios, produtos biológicos, adubos silicatados, os quais podem ser sobrepostos via foliar ou no solo. Para Oliveira e Castro (2002) quando o silício é concentrado pelas raízes é transportado pelo xilema até chegar à parede celular, onde é depositado. Uma vez depositado, o mesmo se torna inerte na planta.

O silício pode auxiliar para aumentar a produção vegetal por meio de algumas ações indiretas, como por exemplo o progresso na arquitetura das plantas (deixando-as com folhas mais eretas), e lógica redução do auto sombreamento e que pode ajudar na redução do acamamento. O silício também pode propiciar um aumento da rigidez estrutural dos tecidos, além de amortecer a fitotoxidez de Fe, Al, Mn e Na. O aumento na rigidez das células das plantas pode harmonizar um menor ataque de pragas e doenças. Moreira et al. (2010) assegura que o acúmulo de silício nas folhas da planta também pode diminuir a transpiração das plantas diminuindo assim sua requisição por água, isso ocorre por causa da ocorrência de uma dupla camada de sílica causando a redução da abertura dos estômatos, diminuindo assim a perda de água.

Considerando esses efeitos possibilitados pelo silício, pode-se reduzir a quantidade de defensivos agrícolas usados nas lavouras, alcançando assim um produto de melhor qualidade e com custo relativamente mais baixo. Porém necessita-se de mais estudos relacionados aos resultados do silício na fisiologia da soja, haja visto que a maior parte das pesquisas relacionados com adubação silicatada são realizados com gramíneas e destacam apenas a maior tolerância da planta a pragas e doenças e pouco do seu efeito na fisiologia vegetal, especialmente em leguminosas (PEREIRA et al., 2004).

A nutrição mineral é um dos fatores de fácil manipulação pelo homem apontando melhor produto e tolerância a pragas e doenças em plantas cultivadas. O silício não é considerado essencial às plantas, no entanto é considerado agronomicamente benéfico, adicionando a tolerância de várias espécies,

principalmente de monocotiledôneas, às pragas e doenças, e a múltiplos tipos de estresses abióticos (DATNOFF et al., 2007).

As monocotiledôneas possuem capacidade de absorver e acumular altos níveis de silício em suas partes aéreas. Para essas espécies a capitalização de silício pode representar entre 0,1 e 10% de toda a matéria seca produzida pela planta (MA e TAKAHASHI, 2002). Porém na cultura da soja, que é dicotiledônea ainda se há carência de informações sobre a ação do silício no desenvolvimento vegetativo e produção das plantas. Sabe-se, porém, que as plantas aprazam na sua capacidade de concentrar e acumular silício, sendo assim qualificadas em plantas acumuladoras, não acumuladoras e intermediárias, como é o caso da cultura da soja (PEREIRA JUNIOR, 2008).

Na soja, a ausência de silício causa sintomas peculiares, como a má formação de folhas e a diminuição da fertilidade do grão-de-pólen. Em qualidades hidropônicas, cultivaram-se plantas de soja em solução com  $100 \text{ mg L}^{-1}$  de Si, mostrando desenvolvimentos de aproximadamente 20% em relação à testemunha sem Si. Estudaram-se também aveia e trigo. Na aveia, foram observados aumentos significativos nas biomassas de panículas e de grãos. Porém, não foram observadas diferenças expressivas para biomassa vegetal (FARIA, 2000).

Outros estudos com Si realizados em soja estão especialmente pertinentes com algumas doenças e pragas. Lima (1998) notou que o acrescentamento da resistência da soja ao cancro-da-haste pode ser induzido, em condições de hidroponia, mediante o incremento do teor de Si. Verificou também que acontecem diferenças varietais expressivas em relação à absorção de Si por plantas de soja.

De acordo com Nascimento et al. (2005), as análises conferiram a redução da infecção por cancro-da-haste em diferentes cultivares de soja, pela aplicação de wollastonita via solo. Pulverizações em plantas de soja com silicato de potássio, mistura de silicato com fungicida protetor (mancozeb) e mistura de silicato com fungicida sistêmico (epoxiconazole + piraclostrobin) diminuíram a severidade do ataque da ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em 34%, 76% e 83,3%, concomitantemente.

Lima (2006) constatou a diminuição em 24,5% da severidade da ferrugem da soja em plantas supridas com silicato de potássio, bem como a ampliação do

conteúdo de clorofila b e carotenóides, do teor de lignina das folhas, observando também a camada de cera epicuticular mais considerável.

Ferreira (2006) ressaltou comportamento diferente de cultivares de soja com a aplicação de Si em vasos; na cultivar IAC-19, houve aumento do grau de resistência à mosca-branca (*Bemisia tabaci*) biótipo B, acontecendo também a potencialização da produção de nitrogênio não-protéico em plantas de soja conexas à mesma cultivar. Nolla et al. (2004) ressaltaram que a aplicação de silicato aumentou a concentração de Si foliar em soja.

Em seus estudos sobre a resposta da cultura da soja com aplicação de silício foliar (MOREIRA et al., 2010) verificou que a maior área fotossintética das plantas de soja que receberam três aplicações de Silício possibilitou o incremento na produção de fitomassa seca de órgãos reprodutivos, sendo esse 28%, 36% e 44% superior em relação aos tratamentos T3 (duas aplicações de silício), T2 (uma aplicação de silício) e T1 (sem aplicação de silício), simultaneamente no final do ciclo de desenvolvimento da cultura, resultando em plantas com maior acúmulo de fitomassa seca da parte aérea, FSPa e total, FST.

Para Deifeld (2017), que analisou em seus estudos o índice de área foliar e a produtividade da soja submetida a aplicações de silício via foliar, a redução da área foliar quando utilizado o silício na dosagem de 600 ml de si ha<sup>-1</sup> pode estar ligado com a fase fenológica de aplicação. Apesar de não diferir estatisticamente nos dados obtidos por ele, foi possível observar que há um decréscimo em dados absolutos nas médias da área foliar já no segundo tratamento, (400 ml) que ocorreu estágio reprodutivo das plantas. Nas avaliações de Da Luz (2006), a presença de uma camada de sílica sobre as superfícies foliares é capaz de modificar o espectro de emissividade da luz. Neste sentido, mais concentrações de silício poderiam ocasionar a formação de uma camada mais espessa de sílica sobre as folhas, o que conseqüentemente podendo afetar o desenvolvimento e a formação de estômatos na superfície das folhas. Lake et al (2001) acrescentaram que plantas com folhas maduras sob luz incidente diminuída podem afetar negativamente a densidade estomática.

De acordo com Korndorfer et al. (2004) o silício pode estar conexo a retenção foliar, devido a manutenção da fotossíntese e distribuição de clorofila em condições de altas temperaturas e baixa umidade do ar. Esse elemento também pode estar envolvido na estabilidade térmica dos lipídios das membranas celulares em condições

de estresse ambiental. Essa verificação pode ter influenciado no maior AF (Área Foliar) e capitalização de fitomassa seca de folhas das plantas de soja submetidas a três aplicações de silício foliar (T4).

O aumento no acúmulo de fitomassa seca na fase reprodutiva é um fator determinante na produtividade das culturas. Board e Modali (2005) ressaltam que o acúmulo de fitomassa seca a partir do estágio R1 e durante o R5 é um elemento importante para medir a produtividade da cultura de soja, principalmente devido a maior interceptação de radiação solar e partição de fotoassimilados para os órgãos reprodutivos, o que auxilia na otimização da produtividade. Assim, os dados observados neste trabalho evidenciam a importância do efeito causado pela aplicação de silício foliar no acúmulo de fitomassa seca na fase reprodutiva.

Costa e Moraes (2011), em seus estudos, encontraram um aumento significativo no número de vagens e na produtividade de soja, usando diferentes doses de silício. No entanto o número de grãos por vagens e massa de 100 grãos não tiveram alterações quando submetidas à aplicação de silício, talvez pelo fato de estarem mais relacionados com a massa volumar de semeadura e condições climáticas (PELUZIO e FIDELIS, 2005). Já em estudos de Crusciol et al. (2013) a aplicação de Silício via foliar possibilitou maior número de vagens por planta e, por conseguinte, maior produtividade de grãos das culturas da soja.

Pereira Junior et al. (2010) também verificaram aumento no número de vagens com o aumento das doses de Si aplicadas no sulco por ocasião da semeadura. Moreira et al. (2010) notaram incrementos de produtividade no cultivar de soja BRS Favorita RR em condições de campo com aplicação foliar de Si em três estádios fenológicos.

No que se refere aos benefícios do silício no controle do ataque de pragas, os estudos de Cappellesso et al. (2016) provaram a diminuição de picadas de insetos nas folhas de soja, resultado este justificado pelo uso do silício que segundo Bussolaro, Zelin e Mourão (2011), por promover benefícios como o acúmulo de silício na parede celular da planta, formando uma barreira física, o mesmo evita perda de água, e penetração de fitopatógenos e de insetos. O menor índice de picada pode ser justificado pelo uso do silício, pois segundo Silva (2009), o silício apesar de não ser considerado um nutriente indispensável, tem desempenhado um papel importante na

proteção de algumas espécies vegetais ao ataque de agentes causadores de doenças e de insetos fitófagos, principalmente os sugadores.

Deifeld (2017) observou que aplicação de silício pode aumentar também o teor de clorofila das plantas e por conseguinte aumentar a fotossíntese, o que também foi confirmado por Deren (2001). Segundo Pereira Junior, (2008), por se tratar de uma cultura estimada intermediária em relação ao acúmulo de silício, são complexas de serem encontradas respostas para aplicações foliares de silício na soja. Os efeitos benéficos de aplicações de silício em plantas de várias espécies, têm sido demonstrados com mais frequência quando as plantas passam por algum tipo de estresse, seja ele biótico ou abiótico (FARIA, 2000).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, o silício é um elemento que está despertando bastante interesse entre os técnicos e agricultores, pelos inúmeros benefícios que traz às culturas, incluindo aumentos na produtividade e na resistência a estresses bióticos e abióticos, tais como abuso de metais pesados, carência hídrica e doenças fúngicas. Quando adicionamos um nutriente ao solo, via adubação, acontecem reações químicas que podem decompor, para mais ou para menos, os teores disponíveis de outros elementos. O caso do silício é atraente, uma vez que advêm interações com vários elementos que beneficiam a nutrição da planta.

O ácido silícico, a forma solúvel presente na solução do solo e pela qual a planta absorve o silício, ajuda a proteger as plantas dos efeitos tóxicos do alumínio pela formação de hidroxialuminossilicatos inertes na solução do solo. Mas esta propriedade não se restringe apenas ao alumínio. O ácido silícico pode reagir com outros metais como ferro, manganês, cádmio, chumbo, zinco, mercúrio e outros, formando silicatos desses metais. Com uma concentração elevada de ácido monossilícico, pode ocorrer precipitação dos metais pesados com uma baixa proporção de silicatos solúveis.

No exemplo do manganês acontece um outro fato bastante relevante. A toxidez de manganês nas plantas se diferencia pelo aumento de compostos fenólicos, responsáveis pelas manchas pardas e necróticas nas folhas. A adição de silício suprime o acréscimo de ácidos fenólicos causados pelo excesso de manganês, atenuando ou mesmo prevenindo o aparecimento dos sintomas de toxidez.

Em casos de estresses salinos, o silício também pode ser benéfico. A concentração de sódio na parte aérea da planta atenua sensivelmente quando se adiciona silício em substratos com carência neste elemento.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; FAGERIA, N. K.; DATNOFF, L. E.; SILVA, O. F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.325-30, 2001.
- BERNI, R. F.; PRABHU, A. S. Eficiência relativa de fontes de silício no controle de bruzone nas folhas em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.195-201, 2003.
- BLACK, R. J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectivas. In: CÂMARA, G. M. S. (Ed.). **Soja: tecnologia da produção II**. Piracicaba: ESALQ, LPV, 2000. p. 1-18.
- BOARD, J. E.; MODALI, H. Dry matter accumulation predictors for optimal yield in soybean. **Crop Science**, Madison, v. 45, p. 1790-1799, 2005.
- BORÉM. **Melhoramento de Espécies Cultivadas**. 2ª ed. Viçosa. Ed. UFV 2005, 969 p.
- BUSSOLARO, I.; ZELIN, E.; MOURÃO, A. P. M. Aplicação de silício no controle de percevejos e produtividade da soja. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v.4, n.3, p.9-19, 2011.
- CÂMARA, G. M. S. **Soja: tecnologia da produção**. Piracicaba: O Autor, 1998. 293 p.
- CAMARGO, M. S.; PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H.; QUEIROZ, A. A.; REIS, C.B. Soil reaction and absorption of silicone by rice. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, n.2, p.176-180, 2007.
- CAPPELLESSO, D. H.; SIMONETTI, A. M. M.; MONTIEL, C. B.; WENDLER, E. **Uso de silício na soja: Parâmetros produtivos e incidência de percevejos**. Anais da X SEAGRO, Paraná. 2016.
- CASTRO, G. S. A.; CALONEGO, J. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1690-1698, 2011.
- CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. **Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation**. Geoderma, Amsterdam, v.195-196, p.234-242, 2013a.
- CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. **Management Impacts on Soil Organic Matter of Tropical Soils**. Vadose Zone Journal, v.1, p.8, 2014.
- CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C. Yield and mineral nutrition of soybean, maize, and Congo signal grass as affected by limestone and slag. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 673-681, 2013b



CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento, 2018. <http://www.conab.gov.br/>. acessado 12 de junho de 2021).

COSTA, R. R.; MORAIS, J. C. Interação silício-imidacloprid no comportamento biológico e alimentar de *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae) em plantas de trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.2, p.455- 460, mar./abr. 2011.

CRUSCIOL, C. A. C.; CASTRO, G. S. A.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J. Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. **Revista Ciência Agrônômica**, v.44, p.404-410, 2013.

\_\_\_\_\_; SORATTO, R. P.; CASTRO, G. S. A.; COSTA, C. H. M.; NETO, J. F.; Aplicação foliar de silício estabilizado na soja, feijão e amendoim. **Revista Ciência Agrônômica Fortaleza**, v. 44, n. 2, jun, 2013.

DA LUZ, B. R. Attenuated total reflectance spectroscopy of plant leaves: **A tool for ecological and botanical studies**. *New Phytologist*. v. 172, p. 305-318, 2006.

DEIFELD, J. A. Avaliação dos efeitos de aplicações foliares de Silício na cultura da soja. Ufma, Chapadinha, 2017. 24p.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. 403 p.

\_\_\_\_\_; RODRIGUES, F. A.; SEEBOLD, K. W. Silicon and Plant Nutrition. In: Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM (Eds.) **Mineral Nutrition and Plant Disease**. Saint Paul MN. APS Press. pp. 233- 246. 2007.

DEREN. C Plant genotypes, silicon concentration and silicon related responses. In: DATNOFF LE, SNYDER GH & KORNDÖRFER GH (Eds.) **Silicon in Agriculture**. Amsterdam, **Elsevier Science**. p.149-158. 2001.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 225p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 11).

EMPRAPA. **Soja em números safra 2014/2015**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 06 jun. 2021.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 400 p., 2005

FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 125p. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos, Viçosa, MG.

FERREIRA, R. V. S. **Influência do silício na indução de resistência à mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) e no desenvolvimento vegetativo em dois cultivares de soja *Glycine max* (L.) Merrill**. 2006. 40p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

- GAO, X.; ZOU, C.; WANG, L.; ZHANG, F. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.29, p.1637-1647, 2006.
- GIANLUPPI, V.; SMIDERLE, O. J. **Plantio direto de soja em campo nativo no cerrado de Roraima - primeiro ano agrícola**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2001. 3 p. (Embrapa Roraima. Embrapa Informa, 2).
- GONG H.; ZHU, X.; CHEN, K.; WANG, S.; ZHANG, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, v.169, p.313-321, 2005.
- GRATÃO, P. L.; POLLE, A.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. **Making the life of heavy metalstressed plants a little easier**. *Functional Plant Biology*, v.32, p.481-494, 2005.
- HATTORI T.; INANAGA S.; ARAKI H.; PING A.; MORITA S.; LUXOVA M.; LUX A. **Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor**. *Physiologia Plantarum*, v.123, p.459-466, 2005.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; CARVALHO, I. M. **Fixação biológica do nitrogênio na soja**. Londrina: Embrapa Soja, Brasília: Embrapa Cerrados, 2001. 48 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 35; Embrapa Cerrados. Circular técnica, 13).
- HYMOWITZ, T. **On the domestication of the soybean**. *Economic Botany*, New York, v. 24, p. 408-421, 1970.
- IGREJA, A. C. M.; PACKER, M. F.; ROCHA, M. B. **A evolução da soja no estado de Goiás e seu impacto na composição agrícola**. São Paulo: Instituto de Economia Agrícola, 1988. 20p.
- KORNDORFER, G. H.; DATNOFF, L. E. **Papel do silício na produção de cana de açúcar**. In: SECAP 200, SEMINÁRIO DE CANA DE AÇÚCAR DE PIRACICABA, 5, Piracicaba. jul. 2000.
- LIANG, Y. C.; SUN, W.; ZHU, Y. G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental Pollution**, v. 147, p. 422-428, 2007.
- LIMA, L. M. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow)**. 2006. 81p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- LIMA, M.T.G. **Interrelação cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum f. Sp. meridionalis*), nodulação (*Bradyrhizobium japonicum*) e silício em soja (*G1vcine Max* (L) Merrill)**. 1998. 58p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants, In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (Eds). *Silicon in Agriculture*. The Netherland, **Elsevier Science**, p.17-39. 2001.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil fertilizer and plant silicon research in japan**. Kyoto University Technical Conferences, v.5, p.112, 2002.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v.11, p.392-397, 2006.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Ceres, 2006. 631p

MANCUSO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; CASTRO, G. S. A. Effect of potassium sources and rates on arabica coffee yield, nutrition, and macronutrient export. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1448-1456, 2014.

MARSARO JÚNIOR, A. L. **Insetos-praga e seus inimigos naturais associados à cultura da soja em Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2008. 24p. (Embrapa Roraima. Documentos, 7).

MELO, S. P.; KORNDÖRFER, G. H.; KORNDÖRFER, C. M.; LANA, R. M. Q.; SANTANA, D. G. Silicon accumulation and water deficit tolerance in Brachiaria grasses. **Scientia Agricola**, v.60, n.4, p.755-759, 2003.

MEYER, J. H.; KEEPING, M. G. Past, present and future research of the role of silicon for sugarcane in southern Africa. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H., eds. Silicon in agriculture. Amsterdam, **Elsevier Science**, p.257-276, 2001.

MEYER, M. C.; MAIA, G. L. **Controle da mela da soja com diferentes grupos de fungicidas em condições de campo no sul do Maranhão**. Fitopatologia Brasileira, v.28 (suplemento), p. 317, ago., 2003.

MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos. 1977. 1062 p.

MOREIRA, A. R.; FAGAN, E. B.; MARTINS, K. V.; SOUZA, C. H. E. **Resposta da cultura de soja a aplicação de silício foliar**. Uberlândia, v. 26, n. 3, p. 413-423, May/June 2010.

MOREIRA, A. R.; FAGAN, E. B.; MARTINS, K. V.; SOUZA, C. H. E.; 2010. Resposta da cultura de soja a aplicação de silício foliar. **Bioscience Journal**, 26(3), 413-423.

NASCIMENTO, J. F.; ZAMBOLIM, L.; DUARTE, H. S. S.; RODRIGUES, F. A. Effect of potassium silicate combine dor not with systemic or protector fungicides on the control fo asian soybean rust. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2005. p. 121.

NEUMAM, D.; NIEDEN, U. Silicon and heavy metal tolerance of higher plants. **Phytochemistry**, v. 56, p. 685–692, 2001.

NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G. H.; ARRUDA, D. G. Acumulação de silício nasoja sob diferentes níveis de calcário e silicato. In: SIMPÓSIO CIENTÍFICO DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, 1., 2004, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia,UFU: 2004.

OLIVEIRA, L. A.; CASTRO, N. M. **Ocorrência de sílica nas folhas de *Curatella americana* L. e de *Davilla elliptica***. St. Hil. R. Horiz. Ci., 2002.

PELÚZIO, J. M.; FIDELIS, R. R. Comportamento de cultivares de soja no Sul do Estado do Tocantis, entressafra 2005. **Bioscience Journal**, v.21, n.3, p.113-118, 2005.

PEREIRA JUNIOR, P. **Doses de silício na produtividade de soja** [*Glycine max* (L.) Merrill] e suas características agrônômicas/ Péricles Pereira Júnior. – Lavras: UFLA, 2008. 28 p

\_\_\_\_\_.; REZENDE, P. M.; MALFITANO, S. C.; LIMA, R. K.; CORRÊA, L. V. T.; CARVALHO, E. R. Efeito de doses de silício sobre a produtividade e características agrônômicas da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.4, p.908-913, 2010.

PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H.; VIDAL, A. A.; CAMARGO, M. S. Fontes de silício para a cultura do arroz [Silicon sources for rice]. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, p. 35-42, 2004.

PHILIPPSSEN, D. R., SIMONETTI, A. P. M. M., 2010. **Efeito de aplicação de diferentes doses de silício aplicado via foliar na cultura da soja**. **Cultivando o saber**, v.3, n.3, p.40-47.

RAMOS, L. A.; KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.751-757, 2008.

REIS, T. H. P.; GUIMARÃES, P. T. G.; FIGUEIREDO, F. C.; POZZA, A. A. A.; NOGUEIRA, F. D.; RODRIGUES, C. R. **O silício na nutrição e defesa de plantas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 124p. (EPAMIG. Boletim Técnico,82).

REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. **Annals of Applied Biology**, v. 155, p. 171-186, 2009.

RODRIGUES, F.A. **Fertilização silicatada na severidade da queima das bainhas (*Rizoctonia solani*) do arroz**. 2000. 100p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitopatologia, Viçosa, MG.

SILVA, A.C.R. **Efeito do Silício aplicado no solo e em Pulverização foliar na incidência da lagarta do cartucho na cultura do Milho**, 2009.

SMIDERLE, O. J. **Cultivo de Soja no Cerrado de Roraima** / Coordenador Oscar José Smiderle. – Boa Vista, RR: Embrapa Roraima, 2019.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.38, n.4, p.928-935, 2008.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; CASTRO, G. S. A.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J. Leaf application of silicic acid to white oat and wheat. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1538-1544, 2012.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, G. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.81-96.

SOUSA, J.V., RODRIGUES, C.R., LUZ, J.M.Q., CARVALHO, P.C., RODRIGUES, T.M., BRITO, C.H., 2010. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, v.26, n.4, p.502-513.

SRIPANYAKORN, S.; JUGDAOHSINGH, R.; THOMPSON, R. P. H.; POWELL, J. J. Dietary silicon and bone health. **Nutrition Bulletin**, v. 30, p. 222-230, 2005.

TISDALE, S. L.; BEATON, J. D.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**. 4.ed. New York: Mac Millan, 1985. 754p.

TOLEDO, M. Z.; CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Physiological quality of soybean and wheat seeds produced with alternative potassium sources. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, p. 363-371, 2011.

USDA – **United States Department of Agriculture**, 2018. Production, Supply and Distribution Online. <http://www.usda.gov>. Acessado 13 de junho de 2021).

VENCATO, A. Z., et al. **Anuário Brasileiro da Soja 2010**. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz, p. 144, 2010.

YORINORI, J.T., et al. **Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil e no Paraguai, nas safras 2000/01 e 2001/02**. Anais, Congresso Brasileiro de Soja, Foz do Iguaçu, PR. p. 94, 2002.

ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Sementes: qualidade fitossanitária**. Viçosa: UFV, 2005. 502p.