BOLETIM AGRONÔMICO
• EDIÇÃO 3 | 2021 •

# USO E IMPORTÂNCIA DO ENXOFRE NA AGRICULTURA

**Luíz Paulo Figueredo Benício**
Assessor Agronômico da Região MAPITO
*OCP Brasil*

Luíz Benício é graduado em Agronomia pela Universidade Federal do Tocantins (UFT). Possui Mestrado em Produção Vegetal e Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas pela mesma instituição. Antes de integrar a OCP Brasil, foi professor de agronomia e atuou em outras grandes empresas do setor.

O Enxofre (S) é um macroelemento essencial para as plantas, com grande importância na formação de proteínas e processos ligados a fotossíntese. Nas leguminosas, participa da fixação biológica de nitrogênio.

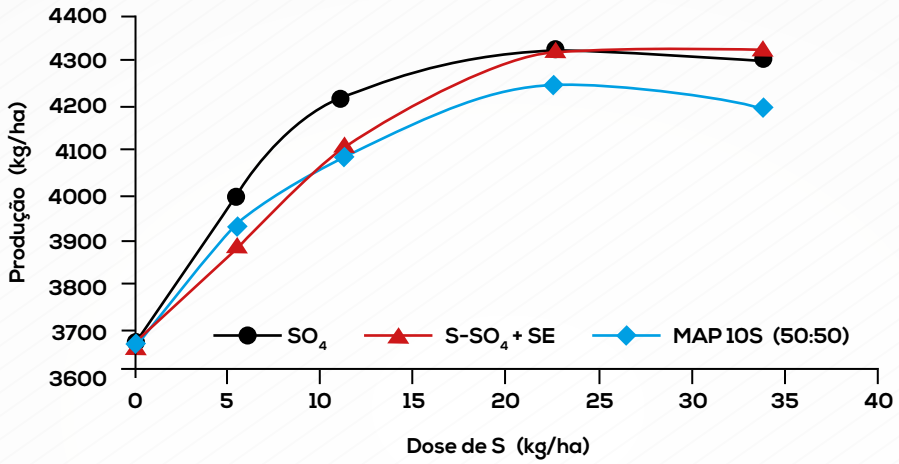
O Brasil, nas últimas décadas, aumentou de forma expressiva sua safra de grãos. No ano 2000 o volume produzido era de cerca de 83 milhões de toneladas; em 2019 a safra brasileira ultrapassou 230 milhões de toneladas (CONAB). Nesse período, houveram muitas mudanças nos sistemas agrícolas: surgiram pacotes tecnológicos com diferentes cultivares de sementes, defensivos com moléculas mais eficientes, estimulantes, maquinários, entre outros, que tiveram participação importante neste crescimento. Algumas dessas mudanças, como por exemplo: i) teto produtivo das cultivares modernas, ii) uso repetido de fertilizantes contendo pouco ou nenhum enxofre (principalmente MAP e ureia), iii) uso intensivo do solo com duas ou até três safras no ano, como ocorre em sistemas irrigados e, iv) plantio direto, tem promovido um aumento na deficiência de S nas áreas agrícolas brasileiras (PIAS et al., 2019).

Em um sistema com duas safras, considerando soja e milho, a exportação média é de cerca de 40 kg/ha de S. Quando consideramos a extração e o que fica imobilizado nos resíduos, esse número aumenta ainda mais, chegando próximo aos 70 kg/ha de S (IPNI 2010). A não reposição do S e a extração sistemática faz com que as reservas do solo se esgotem, tornando este nutriente um grande limitante à produção agrícola, em especial nos dias atuais.

## Resposta das plantas ao enxofre

O enxofre participa de muitos processos vitais das plantas, por isso, na maioria das vezes, elas respondem positivamente à aplicação deste nutriente, principalmente em condições de cultivo intensivo, onde há elevada extração deste nutriente do solo. Na Figura 1 pode-se observar uma resposta positiva que varia com a dose, independente da fonte utilizada. Já na Figura 2 nota-se a eficiência das diferentes fontes ao longo de quatro safras após a aplicação.

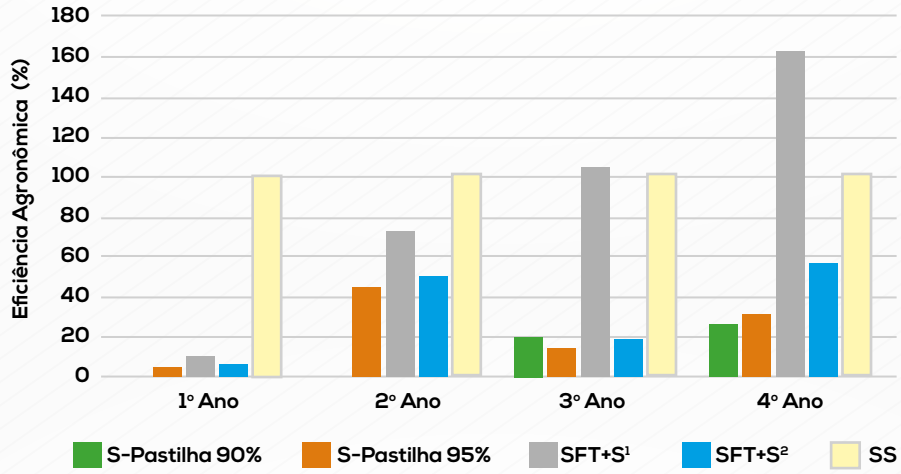
**Figura 1:** Produção de Soja em função de diferentes doses de S, fornecido por diferentes fontes.




*SE: Enxofre Elementar; MAP 10S (50:50): MAP 12-40-00 + 10% de S, sendo 50% SO4 e 50% S-elementar

**Fonte: Casteel et al., 2019.**

**Figura 2:** Índice de eficiência agronômica de fontes contendo enxofre, por quatro anos na cultura do milho.




(1) Superfosfato triplo com S incorporado no grânulo; (2) Superfosfato triplo com S revestindo o grânulo; SS – Superfosfato simples (padrão).

**Fonte: adaptado de Horowitz, 2003.**

## Fontes de Enxofre

A principal fonte de enxofre para as plantas é a matéria orgânica do solo, e a forma preferencialmente absorvida é o íon sulfato ($SO_4^{2-}$). Contudo, por ser um íon susceptível a grandes perdas por lixiviação, a reposição deve ser frequente e pode ser feita utilizando as fontes apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Fontes mais comuns no mercado brasileiro contendo enxofre.

| Fertilizante | Fórmula Química | Concentração de Enxofre (%) |
|---|---|---|
| Enxofre elementar | $S_0$ | 85 |
| Sulfato de amônio | $(NH_4)_2SO_4$ | 24 |
| Superfosfato simples | $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2CaSO_4.2H_2O$ | 12 |
| Gesso agrícola | $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ | 15-18 |
| Sulfato de potássio | $K_2SO_4$ | 18 |
| Sulfato de potássio e magnésio | $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$ | 22 |
| Sulfato de Magnésio | $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ | 13 |

O gesso agrícola é utilizado como um condicionador de solo, favorecendo o acúmulo de S em subsuperfície. Por isso, elevadas quantidades, comumente utilizadas nas áreas agrícolas, são capazes de fornecer o nutriente ao longo das safras, apesar da alta taxa de lixiviação. O gesso, por ser um subproduto da produção de ácido fosfórico (portanto, de baixo custo), limita sua utilização em regiões próximas desta indústria, visto que o frete pode interferir fortemente na relação custo/benefício.

Além do gesso, as fontes de S mais comuns na agricultura são o superfosfato simples e o sulfato de amônio. Entretanto, o uso destas matérias-primas, seja diretamente na lavoura ou em misturas NPK, tem sido substituídas por fontes mais concentradas em nitrogênio (N) e fósforo (P), visando diminuir custos operacionais, mais ligados ao transporte e aplicação. Por outro lado, estas fontes possuem pouco ou nenhum S. Devido à esta necessidade, a substituição de S-sulfato por S-elementar em matérias-primas ou misturas NPK passou a ser uma realidade na indústria de fertilizantes.

O S-elementar, diferente do S-sulfato, não está prontamente disponível às plantas, precisando sofrer o processo de "oxidação" para que se transforme em $SO_4^{2-}$, podendo assim ser absorvido pelas mesmas.

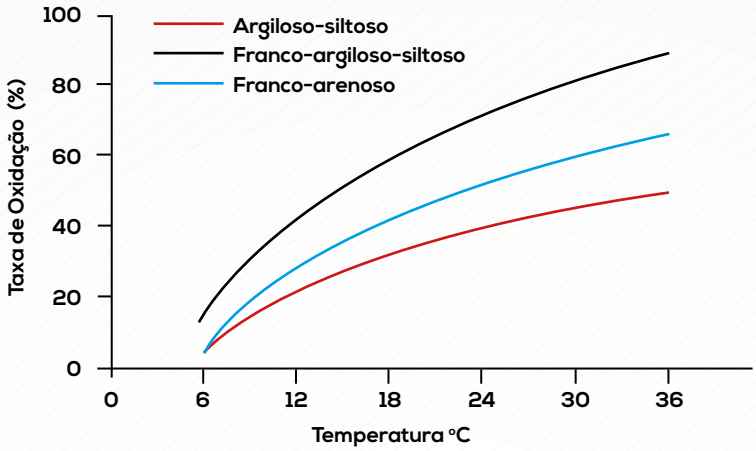
**Oxidação do S-Elementar**

Para que a planta se beneficie do S-elementar aplicado, este tem que ser oxidado à tempo de suprir suas demandas. A oxidação do S é totalmente mediada por microrganismos (bactérias do gênero Thiobacillus) e depende de diversos fatores tais como umidade, temperatura, textura do solo, tamanho da partícula do S-elementar aplicado e composição química do meio (Horowitz, 2003).

A Figura 3 mostra os efeitos da temperatura e de diferentes solos na taxa de oxidação de S-elementar. Observa-se que o aumento da temperatura promove o aumento da taxa de oxidação, e que em solos com maiores teores de argila, há uma menor taxa de oxidação.

Dentre os fatores que interferem na oxidação do S, talvez o tamanho da partícula seja o que necessite de maior atenção (Figura 4). Quanto maior a partícula, maior o tempo para que ocorra a oxidação completa do S-elementar adicionado no solo.

**Figura 3:** Oxidação de S-elementar encubados em diferentes solos sob diferentes temperaturas.



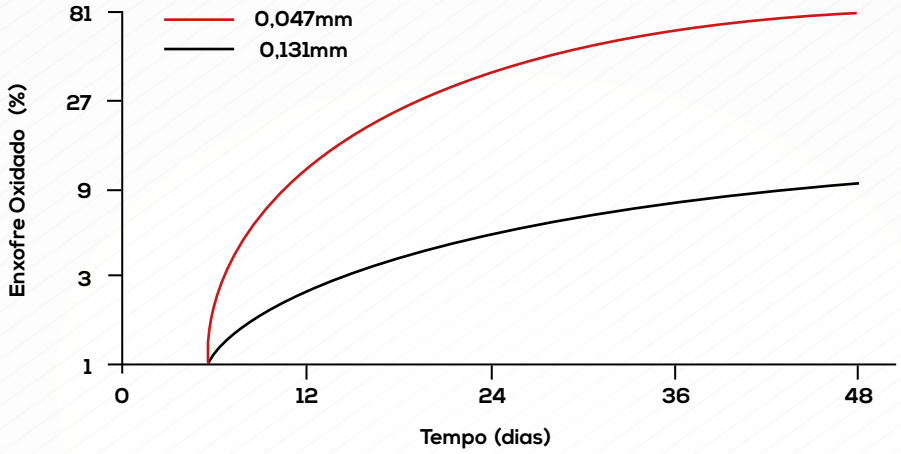

Fonte: Adaptado de Solberg et al., 2005.

No mercado de fertilizantes é comum encontrar S-elementar pastilhado e granulado. Estas fontes podem contribuir para uma reserva de S a longo prazo, uma vez que, devido ao seu tamanho, podem levar anos para ser completamente oxidadas.

Considerando as condições necessárias para uma boa taxa de oxidação de S-elementar, pode-se inferir que o Brasil possui condições favoráveis para o uso dessa fonte; as principais regiões produtoras apresentam elevadas temperaturas, bom regime hídrico nos períodos de cultivo e muitas áreas com solos de textura média a leve.

Levando em consideração os apectos aqui apresentados, sugere-se o uso de fontes que combinem S-sulfato e S-elementar, com o objetivo de suprir a demanda imediata da planta e, ao mesmo tempo, garantir uma reserva para liberação gradual, onde o S fica menos susceptível à perdas por lixiviação.

**Figura 4:** Oxidação do S-elementar em dois tamanhos de partículas encubados à 14°C.




Fonte: Adaptado de Donald & Chapman 1998.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


Casteel, S. N., Chien, S. H., & Gearhart, M. M. (2019). Field Evaluation of Ammonium Sulfate versus Two Fertilizer Products Containing Ammonium Sulfate and Elemental Sulfur on Soybeans. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 50(22), 2941-2947.

CONAB, C. D. A. (2019). Acompanhamento da safra brasileira-grãos.

Donald, D., & Chapman, S. J. (1998). Use of powdered elemental sulphur as a sulphur source for grass and clover. Communications in soil science and plant analysis, 29(9-10), 1315-1328.

Horowitz, N. (2003). Oxidação e eficiência agronômica do enxofre elementar em solos

IPNI. Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: culturas. V3. . Piracicaba: IPNI,467p. 2010.

Pias, O. H. D. C., Tiecher, T., Cherubin, M. R., Mazurana, M., & Bayer, C. (2019). Crop yield responses to sulfur fertilization in Brazilian no-till soils: a systematic review. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 43.

Solberg, E. D., Malhi, S. S., Nyborg, M., & Gill, K. S. (2005). Temperature, Soil Moisture, and Antecedent Sulfur Application Effects on Recovery of Elemental Sulfur as SO4-S in Incubated Soils. Communications in soil science and plant analysis, 36(7-8), 863-874.