

## Diagnóstico dos teores de enxofre extraível no solo das áreas de agricultura de precisão no Rio Grande do Sul.

Alieze Nascimento da Silva<sup>(1)</sup>; Jackson Ernani Fiorin<sup>(2)</sup>; Shaiana da Silva Rebelato<sup>(3)</sup>; Alexandre Nowicki<sup>(4)</sup>; Alan Colling<sup>(5)</sup>.

<sup>(1)</sup> Acadêmica do Curso de Agronomia da Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta, RS, Bolsista PROBIC/FAPERGS; E-mail: alieze.agro@rocketmail.com

<sup>(2)</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Dr. Pesquisador da Cooperativa Central Gaucha Ltda (CCGL/FUNDACEP), Professor da Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta, RS, e Professor Colaborador do Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS; E-mail: jackson.fiorin@ccgl.com.br

<sup>(3)</sup> Acadêmica do Curso de Agronomia da Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta, RS;

<sup>(4)</sup> Acadêmico do Curso de Agronomia da Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta, RS, Bolsista PAPCT/UNICRUZ;

<sup>(5)</sup> Acadêmico do Curso de Agronomia da Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta, RS, Bolsista PROBIC/ FAPERGS;

**RESUMO:** A essencialidade do enxofre para as plantas é indiscutível, pela presença essencial dos aminoácidos sulfurados que compõem as proteínas vegetais. As exigências de enxofre pelas culturas variam muito de acordo com a espécie e com a produtividade esperada. O enxofre é, provavelmente, o macronutriente menos empregado nas adubações. A disponibilidade deste nutriente varia amplamente com as condições de solo, clima e cultivo. O objetivo foi diagnosticar a situação dos teores de enxofre nos solos das áreas manejadas em agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. A pesquisa utilizou-se de 72.879 análises de solos. Considerando o teor crítico de enxofre no solo adotado no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, equivalente a 10 mg dm<sup>-3</sup>, pode-se afirmar que 67,5% das amostras apresentam probabilidade de respostas a aplicação de fertilizantes contendo enxofre. As reduções dos teores de enxofre nos solos manejados em agricultura de precisão no Rio Grande do Sul podem estar associadas às sucessivas exportações do nutriente, através das altas produtividades que vem sendo obtidas nos sistemas de produção de grãos, aliado a utilização frequentes de fertilizantes NPK cada vez mais concentrados e com baixos teores de enxofre. No Rio Grande do Sul, com o advento do plantio direto, as aplicações de calcário são realizadas na superfície sem incorporação. Isso de imediato promove o aumento da disponibilidade do sulfato na camada superficial, porém a infiltração de água promove a movimentação do enxofre para as camadas subsuperficiais, reduzindo, portanto, a sua disponibilidade na camada superficial com o tempo.

**Termos de indexação:** Adubação sulfatada. Plantio direto.

### INTRODUÇÃO

O enxofre é um nutriente essencial para as plantas situando-se no grupo dos macronutrientes, juntamente com o nitrogênio, fósforo, potássio,

cálcio e magnésio. O enxofre se encontra nas plantas formando substâncias determinantes de qualidade e desempenhando funções vitais, sobretudo, no metabolismo das albuminas e nas reações enzimáticas (Malavolta & Moraes, 2007). Participa na formação de alguns aminoácidos (cisteína, cistina, metionina) e, devido a isso, está presente em todas as proteínas vegetais. Além disso, está presente em coenzimas como a ferredoxina, que contém ferro e enxofre em proporções equivalentes atuando diretamente na fotossíntese e na fixação biológica do N<sub>2</sub>.

A essencialidade do enxofre para as plantas é indiscutível, pela presença essencial dos aminoácidos sulfurados que compõem as proteínas vegetais (Thomas et al., 1950). Considerando a qualidade da produção, as sínteses das proteínas que requerem estes aminoácidos como exemplam a glutenina do trigo, torna-se prejudicada pela deficiência de enxofre. Na cultura do trigo, este elemento tem importante papel na qualidade da farinha, contribuindo para a característica de extensibilidade da massa, pois para haver uma boa panificação, os radicais sulfidrilos (-SH) e dissulfeto (S-S) são indispensáveis (Wrigley et al., 1984).

As exigências de enxofre pelas culturas variam muito de acordo com a espécie e com a produtividade esperada (Alvarez et al., 2007). As espécies mais exigentes pertencem às famílias das crucíferas e liliáceas. As leguminosas e forrageiras apresentam menores requerimentos. Em geral as leguminosas exigem maiores quantidades de enxofre do que as gramíneas, em razão dos seus teores mais elevados de proteínas. Porém, em alguns casos, pode ocorrer resposta à adubação sulfatada por gramíneas, com doses semelhantes ou mesmo superior às utilizadas em leguminosas, em razão da grande produção de matéria vegetal, associada à baixa disponibilidade desse nutriente no solo (Alvarez et al., 2007).

O enxofre é, provavelmente, o macronutriente menos empregado nas adubações. No entanto, muitas culturas importantes exigem-no em



quantidades maiores ou iguais às de fósforo (Mello et al., 1984). Nos fertilizantes NPK, o teor de enxofre varia, geralmente, entre 1% e 10%. Nestes fertilizantes, quanto menor for a concentração de nitrogênio, fósforo e potássio, maior a possibilidade de aumento do teor de enxofre nas fórmulas. Fertilizantes com baixa concentração de NPK tendem a conter, em grandes quantidades, como fonte de fósforo, o superfosfato simples, o que aumenta o teor de enxofre. Fórmulas mais concentradas em NPK tendem a conter como fontes de fósforo o monoamônio fosfato (MAP), diamônio fosfato (DAP) e o superfosfato triplo, que têm baixas concentrações de enxofre (Stipp & Casarin, 2010).

De uma maneira geral, existem poucos estudos sobre a resposta das plantas ao enxofre (Osório Filho, 2006). Nesse sentido existe a necessidade de se entender melhor a dinâmica do enxofre no solo e a resposta das culturas a esse nutriente. O enxofre ocorre no solo em formas orgânicas e inorgânicas. Embora a maior parte do enxofre do solo esteja na forma orgânica, o ânion  $\text{SO}_4^{2-}$  é a forma mineral de enxofre predominantemente encontrada no solo e também a principal forma do elemento absorvida pelas plantas (Neptune et al., 1975).

Entretanto, o uso do solo de forma inadequada, resulta em diminuições no teor de matéria orgânica, associado ao uso de corretivos em superfície e fertilizantes concentrados com ausência de enxofre, e às exportações deste elemento pelas colheitas reduzem a disponibilidade de enxofre (Osório Filho, 2006). Neste contexto, aumenta-se a probabilidade de resposta das culturas agrícolas à adubação sulfatada, além de tornar áreas deficientes em enxofre (Horowitz, 2012).

Necessita-se também esclarecer melhor questões relativas à amostragem de solo para fins de análise de enxofre disponível, à eficácia do método de análise oficialmente utilizado e dar sustentação ao teor crítico adotado no Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Osório Filho, 2006). A Comissão... (2004) define três faixas de disponibilidade de enxofre: “baixo”, “médio” e “alto”, que correspondem respectivamente a teores de enxofre extraível  $\leq 2 \text{ mg dm}^{-3}$ , entre 2,1 e  $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ , e  $> 5 \text{ mg dm}^{-3}$ . Contudo, para as leguminosas, brássicas e liliáceas, é preconizado o teor crítico de  $10 \text{ mg dm}^{-3}$ .

Nesse contexto, a recomendação de fertilizantes sulfatados continua apresentando grande complexidade em função dos inúmeros fatores que controlam a dinâmica do enxofre no solo. Desta maneira, a disponibilidade deste nutriente varia amplamente com as condições de solo, clima e

cultivo (Tiwari et al., 1983). Aliado a isso, o interesse em maximizar a produção tem estimulado os produtores a adotarem práticas avançadas de manejo da cultura e do solo. A agricultura de precisão constitui-se numa ferramenta tecnológica que permite o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, fundamental para uma indicação correta de fertilizantes e de corretivos da acidez para cada ponto da lavoura.

O objetivo deste trabalho é diagnosticar a situação dos teores de enxofre extraível nos solos das áreas manejadas em agricultura de precisão no Rio Grande do Sul.

## MATERIAL E MÉTODOS

O diagnóstico foi realizado utilizando-se de 72.879 análises, amostradas nas áreas de produtores que aderiram à agricultura de precisão no período de 2007 a 2012. Aproximadamente 90% das amostras são oriundas da profundidade de 0 a 15 cm. As informações foram obtidas junto ao banco de dados de 22 cooperativas e 6 empresas prestadoras de serviço em diferentes regiões do Rio Grande do Sul, que realizam suas análises no Laboratório de Análise de Solos e Tecido Vegetal da CCGL TEC/FUNDACEP.

Os teores de enxofre extraível do solo foram determinados segundo metodologia proposta pela Comissão... (2004) através da extração de enxofre com utilização de solução de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$   $500 \text{ mg L}^{-1}$  de P, seguida da determinação por turbidimetria com cloreto de bário, após a digestão do extrato com ácido perclórico. Os resultados das análises de solo foram sistematizados utilizando-se de planilha eletrônica Excel. Posteriormente foi calculada a distribuição de frequência (percentagem) das análises dos teores de enxofre extraível, considerando as faixas de  $<5,0$ ; 5,1 a 10; 10,1 a 15; 15,1 a 20 e  $> 20 \text{ mg dm}^{-3}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A situação dos teores de enxofre extraível do solo nas áreas de agricultura de precisão no Rio Grande do Sul é apresentada na Figura 1. Observa-se que 24,1%, 43,4%, 20,2%, 7,9% e 4,4% das análises dos teores de enxofre extraível, encontram-se, respectivamente, nas faixas de  $<5,0$ ; 5,1 a 10; 10,1 a 15; 15,1 a 20 e  $> 20 \text{ mg dm}^{-3}$ .

Considerando o teor crítico de enxofre no solo adotado no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, equivalente a  $10 \text{ mg dm}^{-3}$  (Comissão..., 2004), pode-

se afirmar que 67,5% das amostras apresentam probabilidade de respostas a aplicação de fertilizantes contendo enxofre. Segundo Cantarella & Montezano (2010), as faixas de interpretação empregadas em várias regiões do Brasil, apresentam certa convergência, indicando que solos com teores acima de  $10 \text{ mg dm}^{-3}$  tem menor probabilidade de responder a adição de adubos contendo este elemento. Exceção é observada na calibração feita por Caires et al. (2002) para o Estado do Paraná, em que o teor crítico de enxofre no solo situa-se em torno de 20 a  $25 \text{ mg dm}^{-3}$ , especialmente em culturas de milho e trigo.

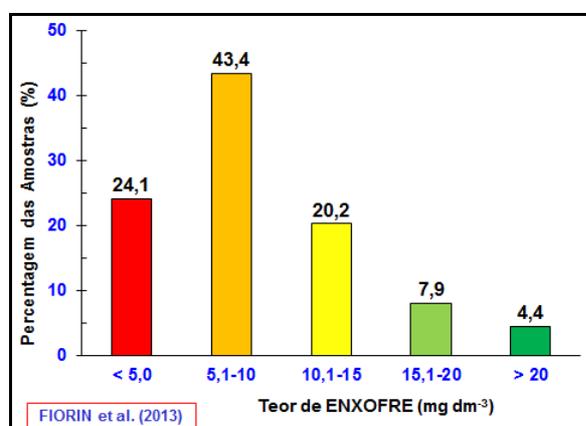


Figura 1. Distribuição de frequência dos teores de enxofre extraíveis nos solos manejados em agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. CCGL TEC/UNICRUZ. Cruz Alta, RS, 2013.

Certamente há a necessidade de mais pesquisas para dar sustentação ao teor crítico adotado no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, especialmente para os sistemas de produção de grãos. Em virtude das altas produtividades que vem sendo obtida, a percepção é que há a necessidade de rever os indicadores da recomendação de fertilizantes de enxofre. Com base nessa premissa, se considerar que os teores críticos de enxofre no solo sejam mais elevados, por exemplo, 15 ou  $20 \text{ mg dm}^{-3}$ , tendência observada por Caires et al (2002) no Paraná, com base no diagnóstico dos teores de enxofre nos solos manejados em agricultura de precisão no Rio Grande do Sul, percebe-se que 87,7% e 95,6% das amostras, respectivamente, apresentam probabilidade de respostas a aplicação de fertilizantes contendo enxofre. Destaca-se, ainda, que existem diferenças no comportamento da absorção e redistribuição de enxofre em plantas de milho e soja. Silva et al. (2003) observaram que grande parte do enxofre absorvido pelo milho foi

retido na raiz, enquanto a soja absorveu consideravelmente menos enxofre, porém apresentou maior eficiência na translocação do nutriente na planta.

É oportuno lembrar que aproximadamente 90% das amostras são oriundas da profundidade de 0 a 15 cm. A análise da camada superficial do solo, normalmente empregada para a determinação da necessidade de fertilizantes e corretivos, pode não ser suficiente para indicar a disponibilidade de enxofre para as culturas. Duarte & Cantarella (2007) avaliando a disponibilidade de  $\text{S-SO}_4^{-2}$  em 36 solos agrícolas do Vale do Parapanema (SP), muitos solos havia grande acúmulo de enxofre abaixo de 20 cm, embora as concentrações desse ânion na camada superficial fossem inferiores a  $10 \text{ mg dm}^{-3}$ . No entanto, a situação dos baixos teores de enxofre na camada superficial, mesmo que em profundidades maiores os teores sejam mais adequados, a preocupação persiste no atual sistema de produção de grãos.

A utilização de cultivares/híbridos modernos, normalmente de ciclo mais precoces, que associado ao alto potencial produtivo, exige além de quantidades maiores de nutrientes, que estes nutrientes estejam “mais prontamente disponíveis” num espaço de tempo relativamente mais curto. Diante dessa percepção, não há tempo hábil para que as raízes atinjam maiores profundidades em busca do enxofre, sem haver perda de potencial produtivo das culturas. Adicional a isso, Osório Filho (2006) alerta que para alcançarem esta região de acúmulo de nutrientes, as raízes precisam crescer sem impedimentos físicos ou químicos. Se isso ocorrer, com a concentração das raízes na superfície do solo, ao longo dos cultivos, poderão surgir problemas de deficiência de enxofre.

A alta frequência de análises com os teores de enxofre extraível abaixo do crítico, nos solos manejados em agricultura de precisão no Rio Grande do Sul, pode estar associada às sucessivas exportações do nutriente, através das altas produtividades que vem sendo obtidas nos sistemas de produção de grãos, aliado a utilização frequentes de fertilizantes NPK cada vez mais concentrados e com baixos teores de enxofre. No Rio Grande do Sul, com o advento do sistema plantio direto, as aplicações de calcário são realizadas na superfície sem incorporação. Todavia, o calcário, cuja mobilidade é baixa, promove a desorção dos nutrientes aniônicos, entre eles o enxofre, na camada superficial (Osório Filho, 2006). De imediato, ocorre o aumento da disponibilidade destes elementos para as plantas. Porém, a infiltração de água promove a movimentação do enxofre mineral ( $\text{S-SO}_4^{-2}$ ) para as camadas



subsuperficiais, reduzindo, portanto, a sua disponibilidade na camada superficial com o tempo.

## CONCLUSÕES

Existe alta frequência de baixos teores de enxofre extraível no solo das áreas de agricultura de precisão no Rio Grande do Sul demonstrando alta probabilidade de respostas à aplicação de fertilizantes contendo enxofre.

## REFERÊNCIAS

- Alvarez V.V.H.; Roscoe, R.; Kurihara, C.H.; Pereira, N.F. Enxofre. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.B.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. (Eds.) Fertilidade do Solo. Viçosa: SBCS, 2007. P.595-644.
- Caires, E.F.; Feldhaus, I.C.; Barth, G.; Garbuio, F.J. Lime and gypsum application on the wheat crop. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.59, n.2, p.357-364, 2002.
- Cantarella, H.; Montezano, Z.F. Nitrogênio e enxofre. Em: Luis Ignácio Prochnow; Sílvia Regina Stipp. (Org.). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. 1ed. Piracicaba. : IPNI. 2010. v 2, p. 1-65.
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10ª ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2004. 400p.
- Duarte, A.P. & Cantarella, H. Adubação em sistemas de produção de soja e milho safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DO MILHO SAFRINHA: RUMO A ESTABILIDADE, 9., 2007, Dourados, 2007. Anais. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. p.44-61. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 89).
- Horowitz, N. Enxofre em plantas cultivadas no Brasil. *Revista Plantio Direto*, n.127. p.31-35. 2012.
- Malavolta, E.; Morais, M.F. Fundamentos do nitrogênio e do nitrogênio e enxofre na nutrição de plantas cultivadas. In: Yamada, T.; Abdalla, S.R.S.; Vitti, G.C. (Eds.). Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira, Piracicaba:IPNI, 2007. p.189-249.
- Mello, F.A.F.; Brasil Sobrinho, M.O.C.; Arzolla, S.; Silveira, R.I.; Cobra Netto, A.; Kiehl, J.C. Fertilidade do Solo. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1984, 400 p.
- Neptune, A.M.L.; Tabatabai, M.A.; Hanway, J.J. Sulphur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus-sulphur relationship in same Brazilian and Iowa soils. *Soil Science Society American Proceeding*, Madison, v. 39, n. 1, p. 51-55, 1975.
- Osorio Filho, B.D. Dinâmica de enxofre no sistema solo e resposta das culturas à adubação sulfatada. 2006. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2006. 75p.
- Silva, D.J.; Alvarez V.,V.H.; Ruiz, H.A.; Sant'ana, R. Translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, p.715-721, 2003.
- Stipp, S.R. & Casarin, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba: IPNI, 2010. 14-20p. (Informações Agronomicas Nº 129).
- Thomas, M.D; Hendricks, R.H; Hill, G.R. Sulfur metabolism in alfafa. *Soil Science*, Baltimore, v. 70, p. 19-26, 1950.
- Tiwari, K.N.; Nigan, V.; Pathak, A.N. Evaluation of some soil test methods for diagnosing sulphur deficiency in rice in alluvial soils of Uttar Pradesh. *Journal os the Indian Society os Soil Science*, New Delhi, 31: 245-249. 1983.
- Wrigley, C.W.; Du Cros, D.L.; Moss, H.J.; Pullington, J.G.; Kasarda, D.D. Effect of sulphur deficiency on wheat quality. *Sulfur in Agriculture*, Washington, v. 8, p. 2-7, 1984.