

# Acúmulo de matéria seca, clorofila e enxofre foliar em milho adubado com diferentes fontes de enxofre

*Dry matter accumulation, chlorophyll and sulfur leaf in corn fertilized with different sulfur sources*

Ivan Vilela Andrade Fiorini<sup>1</sup>, Renzo Garcia Von Pinho<sup>2</sup>, Helcio Duarte Pereira<sup>3,\*</sup>, Luiz Paulo Miranda Pires<sup>2</sup>, Fabrício Vilela Andrade Fiorini<sup>2</sup> e Ewerton Lelys Resende<sup>2</sup>

1 Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) campus Sinop. Departamento de Agronomia. CEP 78557-267. Sinop-MT, Brasil.

2 Universidade Federal de Lavras (UFLA). Departamento de Agricultura. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. CEP 37200-000. Lavras-MG, Brasil.

3 Universidade Federal de Viçosa (UFV). Av. Peter Henry Rolfs, s/n. Campus Universitário. Programa de pós-graduação *Stricto sensu* em Genética e Melhoramento. CEP. 36570-000. Viçosa-MG, Brasil.

\*Autor para correspondência: hhelciopassos@yahoo.com.br

## RESUMO

No Brasil, com o uso constante de adubos concentrados em NPK, o enxofre passou a ser limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas de milho. Esta pesquisa objetivou avaliar a eficiência do enxofre elementar revestindo o grânulo de adubo, comparado ao enxofre advindo do sulfato de amônio, associado a misturas de adubos solúveis a base de NPK. Utilizou-se o híbrido de milho DKB390 avaliado sob o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x6 (três adubos x seis estádios fenológicos) com três repetições. Foi utilizado solo de monocultivo de milho e três adubos formulados (NPK) associados ao enxofre (sulfato de amônio ou enxofre elementar) e à testemunha sem enxofre. Foram avaliados os acúmulos de matéria seca da parte aérea e raiz, clorofila e teor de enxofre foliar. Os dados foram coletados nos estádios: 6 folhas, 10 folhas, 14 folhas, pendoamento, florescimento e maturidade fisiológica. Os adubos utilizados proporcionaram diferenças na matéria seca da parte aérea e no acúmulo de enxofre nas folhas. O acúmulo de enxofre nas folhas de milho foi semelhante para as fontes enxofre elementar e sulfato de amônio. O enxofre elementar proporcionou resultados superiores comparados ao adubo sem enxofre e semelhantes ao adubo contendo sulfato de amônio

**Palavras-chave:** Fertilizantes. Casa de vegetação. Sulfato de Amônio. Clorofilômetro.

## ABSTRACT

In Brazil, with the constant use of concentrated NPK fertilizers, sulfur became a limiting nutrient for corn plant growth and development. This research aimed to evaluate the efficiency of elemental sulfur coating the granule of fertilizer, compared with the sulfur of ammonium sulfate associated to soluble fertilizers based on NPK. The hybrid-corn DKB390 was evaluated under a completely randomized design in a factorial scheme 3x6 (three fertilizers × six phenological stages) with three replications. A soil under corn monoculture was used. Three types of formulated fertilizers (NPK) associated with sulfur (ammonium sulfate or elemental sulfur) and the control without S was used. The accumulation of the shoots and root dry matter, chlorophyll and sulfur in leaves were evaluated. The data were collected at stages: 6 leaves, 10 leaves, 14 leaves, tasselling, flowering and physiological maturity. The used fertilizers provided differences on the shoot dry matter and on the sulfur accumulation in leaves. The sulfur accumulation in corn leaves was similar among the elemental sulfur and the ammonium sulfate treatments. Elemental sulfur provided superior results in comparison to the fertilizer without sulfur and was similar to the fertilizer with ammonium sulfate.

**Keywords:** Fertilizers. Greenhouse. Ammonium sulfate. Chlorophyllometer.

## OPPEN ACCESS

### Informações adicionais

**Recebido:** 22/07/2016

**Aceito:** 10/01/2017

**Publicado:** 15/04/2017

#### Editor:

Vinicius Batista Campos  
Instituto Federal do Amapá,  
Macapá, AP.

vinicius.campos@ifap.edu.br

### Revisão por pares às cegas

#### Processos de revisão

Prot. 1142016R01 (Brasil)

Prot. 1142016R02 (Brasil)



JBFS all rights

Copyright: © 2017

## INTRODUÇÃO

O enxofre (S), assim como outros nutrientes, apresenta importância no crescimento e desenvolvimento das plantas, principalmente por participar da constituição proteica. Atualmente, com o uso de formulados de adubos concentrados com baixo teor de S e uso intensivo dos solos, visando altas produtividades em milho, portanto, com maior extração de S do solo, as respostas à adubação com esse nutriente tendem a aumentar.

A deficiência de S apresenta sintomas visuais apenas quando severa e se caracteriza por uma clorose de cor verde menos intensa de forma uniforme nas folhas novas, sendo semelhante à deficiência de nitrogênio (N), que ocorre nas folhas velhas e ambas incluem redução no crescimento da planta. Por outro lado, o suprimento adequado de S aos vegetais aumenta a utilização do N na síntese proteica (Rubisco) aumentando, por conseguinte, o índice fotossintético das folhas e a produção do milho (SILVA; ALVAREZ; RUIZ, 1998).

A deficiência de S é fator limitante da produção nos Cerrados devido à baixa fertilidade natural e matéria orgânica do solo, exportação dos nutrientes pelos grãos e uso de fertilizantes concentrados que contêm pouco S em sua composição. Aliado a isso, a realização da calagem e adubação com fosfatos solúveis facilita a migração do  $\text{SO}_4^{2-}$  (forma absorvida pelas plantas) para as camadas subsuperficiais, que por limitações físico-químicas pode não estar disponível para absorção pelo sistema radicular, comprometendo a produtividade. Assim, em solos com teores de S inferiores a  $10 \text{ mg dm}^{-3}$ , em milho, há probabilidade de resposta ao uso de S (RHEINHEIMER et al., 2005).

As necessidades de S para o milho são geralmente supridas via fertilizantes concentrados NPK. O sulfato de amônio ( $24 \text{ g kg}^{-1} \text{ S}$ ) e o superfosfato simples ( $120 \text{ g kg}^{-1} \text{ S}$ ) são as fontes mais comuns. A incorporação de enxofre elementar ( $\text{S}_0$ ) aos fertilizantes convencionais, como ureia e superfosfato triplo, é outra forma de aumentar o teor de S em formulações concentradas NPK. Para que o  $\text{S}_0$  seja absorvido é necessária sua oxidação por bactérias do solo a S-sulfato, forma disponível para as plantas (HOROWITZ; Meurer, 2007). Plantas de milho apresentam absorção radicular de S retendo grande parte desse nutriente na própria raiz, sendo assim, é importante a manutenção dos níveis críticos de S no solo. Desse modo, a concentração do íon na solução do solo e a taxa de transpiração do vegetal determinam a quantidade transportada pelo fluxo de massa, principal mecanismo de absorção do S em vegetais (SILVA et al., 2003).

Há necessidade de mais estudos para a verificação da eficiência de outras fontes de S, como, por exemplo, o  $\text{S}_0$ . A utilização do  $\text{S}_0$ , com mais de 90 % de S incorporado em fertilizantes NPK em substituição a outras fontes de S, é uma realidade em vários países e pode aumentar a concentração do nutriente nas formulações, reduzindo os custos de produção, de transporte e de aplicação do fertilizante (HOROWITZ; MEURER 2006). Porém, a forma de incorporação do  $\text{S}_0$  ao formulado terá repercussões na eficiência agrônômica do fertilizante. Entre as formas de incorporações destacam-se: a) o recobrimento do fertilizante previamente granulado com  $\text{S}_0$  fundido e b) incorporação do  $\text{S}_0$  em pó durante a granulação do superfosfato (STIPP; CASARIN, 2010).

No Brasil, há poucos trabalhos de pesquisa evidenciando a utilização do  $\text{S}_0$  como principal fonte de S em fertilizantes NPK, o que poderia gerar economias tanto para a indústria de fertilizantes como no custo de produção da lavoura de milho. Há necessidade de se verificar se o acúmulo deste nutriente fornecido na forma elementar é semelhante quando este advém de outras fontes de S. Poucas são as

informações encontradas na literatura sobre as relações do  $S_0$  com a produção da cultura do milho. O objetivo com o trabalho foi avaliar a eficiência de diferentes fontes de S, associadas a formulados de NPK, no acúmulo de matéria seca, enxofre foliar e teor de clorofila na cultura do milho.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação iniciando em novembro de 2008 e finalizando em março de 2009. Foi utilizado solo proveniente de área cultivada com milho há mais de 10 anos obtido na camada de 0-0,20 m de profundidade e peneirado em malha de 20 mm, sendo classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) textura argilosa (EMBRAPA, 2006). Os resultados obtidos com a análise química do solo apresentaram os seguintes valores: pH em  $H_2O$  5,5; P 4,6  $mg\ dm^{-3}$ ;  $K^+$  72  $mg\ dm^{-3}$ ;  $Ca^{2+}$  12  $mmol_c\ dm^{-3}$ ;  $Mg^{2+}$  5  $mmol_c\ dm^{-3}$ ; V 42,5 %; matéria orgânica 25  $g\ kg^{-1}$ ;  $S-SO_4^{-2}$  9  $mg\ dm^{-3}$ ;  $Zn^{2+}$  4,3  $mg\ dm^{-3}$ ;  $Mn^{2+}$  9,1  $mg\ dm^{-3}$ ;  $Cu^{2+}$  1,5  $mg\ dm^{-3}$  e B 0,7  $mg\ dm^{-3}$ . Foi utilizado o híbrido de milho DKB 390 sendo semeadas quatro sementes por vaso de 30 L, deixando apenas uma planta após desbaste, que foi feito com uma semana após a emergência. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x6 [(três fontes de S – Enxofre elementar, Sulfato de amônio e testemunha) e seis estádios fenológicos – 6 folhas, 10 folhas, 14 folhas, pendoamento, florescimento e maturidade] com três repetições.

Foram avaliadas três fontes de S (Tabela 1). A adubação, realizada conforme Andreotti et al. (2000), foi de 200 mg de N, 200 mg de P e 180 mg de K por kg de solo. Para os tratamentos que continham S este foi fornecido na dose de 60mg por Kg de solo. Para isso aplicaram-se por vaso 21,5 g do adubo de plantio e 20,3 g do adubo de cobertura aos 30 dias após a emergência das plantas, ambos associados ou não às fontes de enxofre estudadas [ $S_0$  ou  $(NH_4)_2SO_4$ ]. Para suprir a demanda dos micronutrientes foram aplicadas soluções com fontes de reagentes puros sem o S. A umidade do solo foi mantida próxima aos 70 % da capacidade máxima de retenção de água pelo solo, por meio de pesagem diária dos vasos. A água foi aplicada por rega manual no volume de aproximadamente 1 L no início do desenvolvimento das plantas e de 2L quando mais desenvolvidas, em função da variação na demanda evapotranspirométrica da casa de vegetação com o decorrer do ensaio.

**Tabela 1.** Descrição das fontes de S e dos adubos (mistura de grânulos) formulados N: P: K utilizados no experimento.

**Table 1.** Description of S sources and formulated fertilizers (mixture of granules) N: P: K used in the experiment

Fonte de S:	Adubação:	
	Semeadura	Cobertura
Sem enxofre	08-28-16	22-00-20
Sulfato de amônio	08-28-16 + 1,5 % S	22-00-20 + 7,3 % S
Enxofre elementar	08-28-16 + 1,5 % S	22-00-20 + 7,3 % S

Foram avaliados os acúmulos de matéria seca da parte aérea e raiz, teor de clorofila e teor de enxofre foliar, tendo-se coletado folhas nos seguintes estádios fenológicos (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003): E1 (seis folhas completamente expandidas), E2 (10 folhas completamente expandidas), E3 (14 folhas completamente expandidas), E4 (pendoamento), E5 (florescimento pleno) e E6 (ponto de maturidade fisiológica). O acúmulo do teor de clorofila foi realizado indiretamente por meio de

leituras SPAD até o estágio de florescimento pleno (E5), pois na maturidade fisiológica (E6) as folhas já estavam senescentes. Segundo Von Pinho et al. (2009) a estimação dos estádios fenológicos de acordo com essa escala apresenta maior precisão se comparado às, usualmente, utilizadas, como dias após a emergência ou após o plantio, que dependem de vários fatores ambientais não passíveis de controle.

A planta de milho foi fracionada em diferentes partes conforme o estágio fenológico (folha, caule, pendão e espiga) sendo secas em estufa de circulação forçada a 70°C até peso constante para determinação da matéria seca da parte aérea, que foi obtida mediante a soma dos componentes presentes de acordo com o estágio fenológico, exceto a raiz. Para a matéria seca da raiz procedeu-se lavando-a via úmida, com de jatos de água e separando-a da terra do vaso, recolhendo-as em peneiras de 4 mm e posteriormente secas em estufa de circulação forçada a 70°C até peso constante, para determinação da massa de matéria seca.

Efetuuou-se a estimativa do teor de clorofila indiretamente por meio de leituras de unidades SPAD (Soil Plant Analysis Development) com o aparelho clorofilômetro SPAD-502 (Minolta®) no último par de folhas completamente desenvolvidas, de acordo com o estágio fenológico em questão. Utilizou-se a média de duas leituras por folha, que foram realizadas na parte mediana do limbo. As leituras efetuadas por este equipamento indicam valores proporcionais de clorofila na folha e são calculadas com base na quantidade de luz transmitida e absorvida através da folha em dois comprimentos de ondas com distintas absorbâncias de clorofila (ARGENTA et al., 2001).

Para determinação da matéria seca das folhas foram colhidas de cada parcela folhas sem a nervura central, secas em estufa de circulação forçada a 70°C até peso constante. Para determinação do teor de enxofre foliar na matéria seca as folhas ainda foram moídas em moinho elétrico com peneira de 1 mm, homogeneizadas, retirada uma amostra de 5 gramas e enviadas ao Laboratório de Análise Foliar/DQI/UFLA. Foi calculado o acúmulo de enxofre foliar por meio da relação entre a massa de matéria seca (MMS) e o teor de enxofre (%) na folha, por meio da expressão:

$$\text{Acúmulo de enxofre (g.planta}^{-1}\text{)} = [\text{MMS(g) . teor de S(\%)}] / 100$$

Eq. (1)

A princípio foram realizados os testes de aditividade do modelo, normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. Não havendo nenhuma restrição às pressuposições da análise de variância, as médias dos fatores qualitativos foram agrupadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) enquanto os fatores quantitativos foram submetidos à análise de regressão polinomial, por meio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constataram-se diferenças significativas ( $p \leq 0,01$ ) para a fonte de variação estádios fenológicos para todas as características avaliadas. Já para os adubos, verificou-se que apenas no acúmulo de matéria seca da parte aérea e teor de enxofre foliar houve efeito. Vale ressaltar que para a matéria seca da parte aérea foi constatada interação entre adubos e estádios fenológicos. A Tabela 2 apresenta os resultados médios para as características avaliadas em relação às adubações com diferentes fontes de S. Houve incremento na média do acúmulo de matéria seca da

parte aérea quando se utilizou o S<sub>0</sub> em relação ao sulfato de amônio e a testemunha sem S. Para o acúmulo de S foliar a adubação contendo S<sub>0</sub> revestindo o grânulo do NPK proporcionou resultados superiores à adubação sem S e semelhante à adubação contendo o enxofre na forma de sulfato de amônio. Para a matéria seca da raiz e a medida indireta de clorofila não foram constatadas diferenças entre as adubações. Assim, as fontes de S não influenciaram de forma diferenciada o acúmulo de matéria seca na raiz nem a medida indireta de clorofila nas plantas de milho.

**Tabela 2.** Resultados médios das características matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), acúmulo de enxofre foliar (S Foliar) e medida indireta de clorofila (SPAD), considerando as fontes de S.

**Table 2.** Mean results of aerial dry matter (MSPA), root dry matter (MSR), leaf sulfur accumulation (S Foliar) and indirect chlorophyll measurement (SPAD), considering the sources of S.

Fontes de S	MSPA -----g. planta <sup>-1</sup> -----	MSR	S Foliar	SPAD
Sem enxofre	204,5 b	62,4 a	0,12 b	44,5 a
Sulfato de amônio	205,8 b	61,5 a	0,16 a	45,3 a
Enxofre elementar	254,3 a	70,8 a	0,19 a	46,4 a

As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

Vários autores relatam resposta de diversas culturas à aplicação do S. As doses crescentes de S propiciaram maior produção de matéria seca da parte aérea em braquiária no primeiro e segundo corte (LAVRES JÚNIOR; MONTEIRO; SCHIAVUZZO, 2008). Cultivando braquiária em casa-de-vegetação sob 21 solos distintos (1 a 14 mg dm<sup>-3</sup> de S), coletados em diferentes regiões do Brasil, verificou-se resposta à adubação com S na maioria dos solos nos quais todos os tratamentos com S resultaram em maior produção de matéria seca em relação ao controle (PROCHNOW et al., 2007). Em todos os solos onde houve resposta ao S a produção de matéria seca dos tratamentos com S<sub>0</sub> foi equivalente ao sulfato. Os autores concluíram que os solos com resposta ao S têm potencial para adubação com S<sub>0</sub> resultando em produção semelhante à obtida com o sulfato de amônio. Resultados que corroboram os obtidos no presente trabalho.

Aumento da produtividade de grãos de milho na recuperação de pastagem degradada foram constatados quando se aplicaram doses crescentes de S (até 60 Kg ha<sup>-1</sup> de S) em solo com 7 mg dm<sup>-3</sup> de S (DOMINGUES et al., 2004). Em solos com baixo teor de S (< 5 mg dm<sup>-3</sup>), houve aumento na produtividade do milho como os resultados obtidos por Miranda e Miranda (2008) com as doses 0, 15, 30 e 45 kg de S ha<sup>-1</sup> com gesso e um tratamento adicional de 15 kg ha<sup>-1</sup> de S<sub>0</sub> em 2 sistemas de cultivo, convencional e direto, em dois anos agrícolas. Os autores verificaram que todos os tratamentos foram superiores em produtividade de grãos em relação à testemunha sem S.

A eficiência agrônômica de fertilizantes a base de ureia e ureia com enxofre elementar, associada a diferentes doses em cobertura no milho em sistema de plantio direto foi avaliada por Mendes et al. (2014) em solo com baixo teor de S (< 3 mg dm<sup>-3</sup>). Houve aumento na produtividade de grãos de milho quando o enxofre foi associado em cobertura, frente aos demais tratamentos, independentemente do híbrido utilizado. Rheinheimer et al. (2005) também relatam resposta de algumas culturas à

aplicação de enxofre, em condições de plantio direto, utilizando o sulfato como fonte fornecedora do elemento.

Em trabalho em casa de vegetação, com quatro cultivos consecutivos de milho, comprovou-se que o superfosfato triplo, ao qual foi incorporado  $S_0$  na forma de pó, apresentou eficiência agrônômica crescente com o decorrer dos cultivos, atingindo índices de eficiência agrônômica superiores ao do gesso em pó e ao do superfosfato simples (fonte de S padrão) no terceiro e no quarto cultivo (HOROWITZ; MEURER, 2006). O superfosfato triplo revestido com  $S_0$  fundido apresentou índices intermediários. Estes resultados indicam que a utilização do  $S_0$  associado a fontes de P granuladas apresentam potencial de utilização em áreas com níveis adequados do nutriente, porém que necessitam de reposição de enxofre. Frandoloso et al. (2010) também relataram resposta em produção de grãos de milho e no índice de eficiência de uso do fertilizante fosfatado na presença de  $S_0$ , tanto para a fonte fosfato natural reativo, quanto superfosfato triplo.

Estudando o efeito da aplicação de misturas de grânulos e relações N:S, em cobertura nitrogenada de ureia e sulfato de amônio, Lara Cabezas e Souza (2008) encontraram que todos os tratamentos foram superiores em produtividade de grãos em relação à testemunha sem enxofre e nitrogênio.

Quanto ao acúmulo de S foliar, assim como no presente trabalho, alguns autores encontraram maior teor foliar de S nos tratamentos a base de S em relação à testemunha. Em experimento de misturas de grânulos e diversas relações N:S Villas Boas et al. (2005) encontraram maior quantidade de enxofre em plantas de milho que receberam somente sulfato de amônio comparado às plantas que receberam ureia. Os tratamentos avaliados por Mendes et al. (2014) em adubações de cobertura no milho com nitrogênio e enxofre proporcionaram maiores teores foliares de enxofre quando comparados aos tratamentos com apenas nitrogênio e tratamento testemunha.

Analisando os desdobramentos da interação adubos e estádios (Tabela 3) pode-se verificar que a fonte do adubo com  $S_0$  propiciou os maiores valores de matéria seca da parte aérea no último estágio de desenvolvimento (maturidade fisiológica). Nos demais estádios de desenvolvimento observa-se um comportamento semelhante com as diferentes adubações.

**Tabela 3.** Resultados médios de matéria seca da parte aérea (MSPA) da análise do desdobramento adubos: estádios, considerando os estádios fenológicos na cultura do milho.

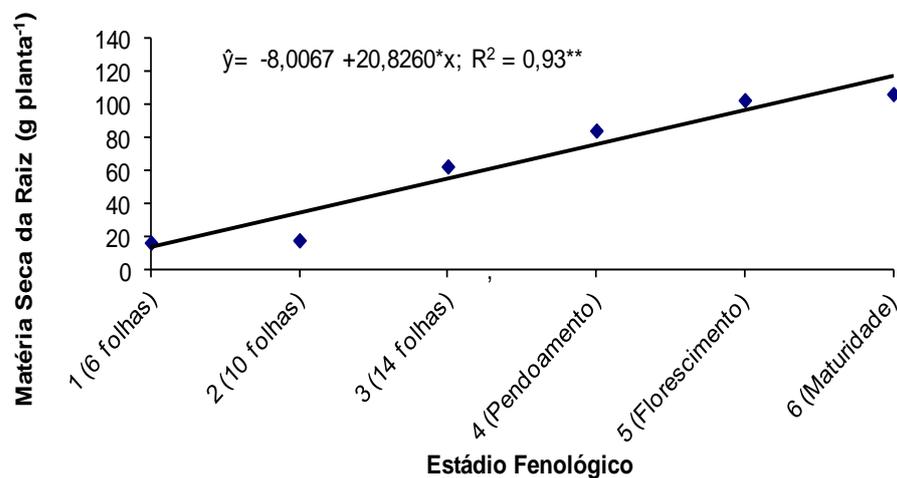
**Table 3.** Average dry matter dry matter (MSPA) results of the analysis of the fertilizer split: stages, considering the phenological stages in the maize crop.

Estádios	Sem Enxofre	Enxofre do Sulfato de Amônio	Enxofre Elementar
	-----g/planta-----		
1 (6 folhas)	8,23 Ac	9,90 Ac	8,88 Ac
2 (10 folhas)	78,24 Abc	81,92 Abc	76,18 Abc
3 (14 folhas)	146,87 Abc	183,00 Ab	181,87 Ab
4 (pendoamento)	174,73 Ab	206,90 Ab	193,17 Ab
5 (florescimento)	234,67 Ab	211,87 Ab	214,17 Ab
6 (maturidade)	584,03 Ba	541,31 Ba	851,22 Aa

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

De modo geral, observa-se quatro padrões de acúmulo de matéria seca da parte aérea, sendo um acúmulo menor no primeiro estágio. Um aumento no acúmulo de matéria seca da parte aérea pode ser observado no segundo estágio avaliado e nos estádios 3, 4 e 5, se observa uma terceira fase de aumento. O último aumento no acúmulo de matéria seca da parte aérea se observa na maturidade fisiológica, sendo este comportamento explicado pelo constante acúmulo de fotoassimilados durante todo o ciclo da cultura. Apesar de se iniciar uma redução na atividade fotossintética durante o enchimento de grãos, ainda assim o acúmulo de matéria seca é expressivo, pois o tempo entre o florescimento e a maturidade pode chegar a 60 dias ou mais, enquanto a diferença de tempo entre os cinco primeiros estádios fenológicos é de apenas dias, dificilmente ultrapassando duas semanas. A maior produção de matéria seca da parte aérea é encontrada no estágio da maturidade, devido ao incremento em matéria seca após o florescimento (Duarte et al., 2003). Nessa fase há alto acúmulo de fotoassimilados na planta de milho com o enchimento dos grãos.

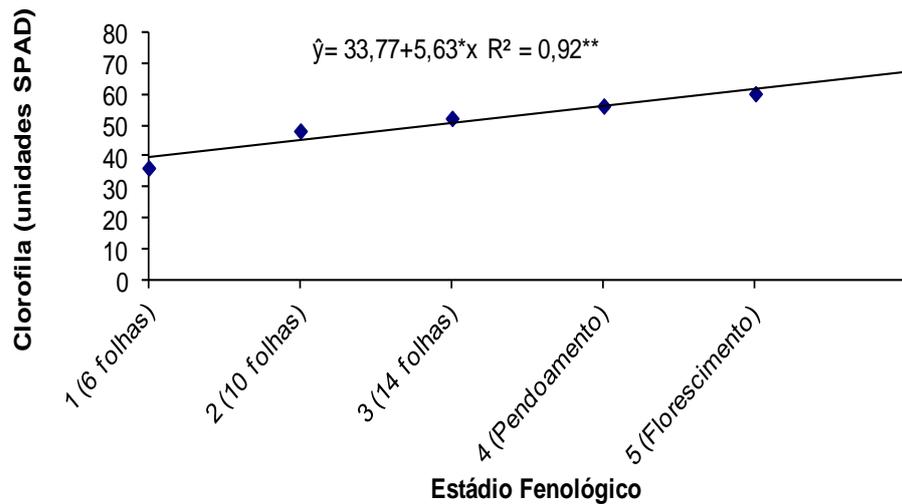
Em relação ao acúmulo de matéria seca da raiz houve aumento linear no decorrer dos estádios fenológicos com coeficiente de determinação do modelo explicando 93 % da variação dos dados (Figura 1).



**Figura 1.** Matéria seca da raiz em função dos estádios fenológicos, expresso em g planta<sup>-1</sup>.  
**Figure 1.** Root dry matter as a function of the phenological stages, expressed in g plant<sup>-1</sup>.

Com o avanço dos estádios fenológicos a produção de clorofila apresentou tendência linear, sendo que o coeficiente de determinação explicou 92 % da variação dos dados (Figura 2).

As leituras SPAD realizadas com clorofilômetro no florescimento, segundo Argenta et al. (2001) estimam com boa precisão o teor de clorofila nas folhas de milho, sendo eficiente parâmetro para o monitoramento do nível de N. Os valores de leituras indiretas de clorofila obtidos no presente trabalho assemelham-se aos obtidos por esses autores e ainda com os obtidos por Amaral Filho et al. (2005) no estágio de florescimento. Após esse estágio começa uma intensa perda de clorofila em razão da menor atividade fotossintética na maturidade fisiológica do grão de milho. Assim, na maturidade fisiológica do grão há perda de água nos tecidos vegetais o que propicia queda na produção de clorofila até cessar toda a atividade fotossintética da planta. Isso ocorre devido às plantas estarem em senescência, ou seja, com perda acentuada de água nos tecidos vegetais até posterior queda de folhas e morte das plantas.

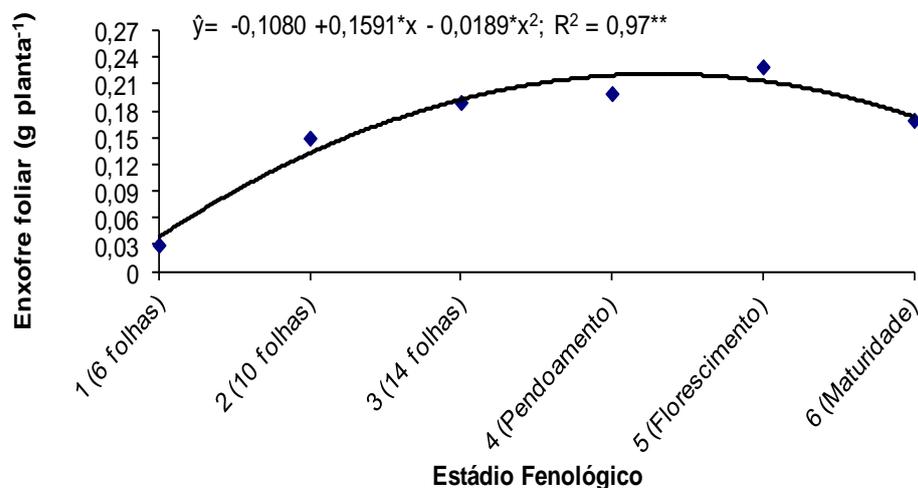


**Figura 2.** Medida indireta de clorofila determinado pelo SPAD-502 em função dos estádios fenológicos, expresso em unidades SPAD

**Figure 2.** Indirect chlorophyll measurement determined by SPAD-502 as a function of phenological stages, expressed in SPAD units

Considerando os estádios fenológicos e o teor de enxofre foliar, observou-se que um modelo quadrático explicou melhor o comportamento dessa variável, apresentando um coeficiente de determinação de 97 % com o valor de máximo acúmulo no estágio de florescimento (Figura 3).

Nesse mesmo estágio (florescimento) vários autores também encontraram os maiores valores de S nas folhas de milho (VON PINHO et al., 2009; VASCONCELLOS; VIANA e FERREIRA, 1998; VASCONCELOS et al., 1983; BORIN; LANA e PEREIRA, 2010). Segundo afirmam esses autores, os acúmulos de nutrientes, incluindo o S, são crescentes até o período compreendido entre o final do florescimento e o início do enchimento de grãos, quando é atingido o máximo acúmulo. Após esse estágio a queda no acúmulo de nutrientes nas folhas pode ser devido à redistribuição deste para outras partes da planta como para o colmo, espigas (grãos), entre outros componentes.



**Figura 3.** Enxofre foliar em função dos estádios fenológicos, expresso em g planta<sup>-1</sup>.

**Figure 3.** Foliar sulfur as a function of phenological stages, expressed in g plant<sup>-1</sup>.

## CONCLUSÕES

As fontes de S avaliadas proporcionam diferenças na matéria seca da parte aérea e no acúmulo foliar de enxofre. O enxofre elementar proporciona incremento em matéria seca da parte aérea em relação ao enxofre do sulfato de amônio e a testemunha sem enxofre.

O acúmulo de enxofre foliar fornecido na forma elementar é semelhante ao fornecido como sulfato de amônio.

O adubo contendo enxofre na forma elementar pode substituir adubos contendo enxofre via sulfato de amônio sem interferir no acúmulo de enxofre foliar na planta de milho, independentemente do estágio fenológico considerado.

A forma de fornecimento de enxofre nas adubações não proporciona diferenças significativas na matéria seca da raiz e no conteúdo de clorofila das folhas.

## AGRADECIMENTOS

A CAPES e ao CNPq pelas bolsas de pós-graduação concedidas aos autores. A FAPEMIG pelo apoio financeiro em pesquisas.

## CONTIRBUIÇÃO DOS AUTORES

Planejamento e condução experimental: Os autores IVAF, RGVP, FVAF e ELR; Formatação e revisão final do artigo: autores HDP e LPMP.

## CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declararam que não há conflito de interesse.

## FINANCIAMENTO

Os autores reportaram que receberam suporte financeiro da CAPES e CNPq (bolsas) e FAPEMIG (auxílio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa).

## REFERÊNCIAS

- AMARAL FILHO, J.P.R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J.C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.29, n.1, p.467-473, 2005. DOI: [10.1590/S0100-06832005000300017](https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000300017)
- ANDREOTTI, M.; SOUZA, E.C.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; RODRIGUES, J.D.; BULL, L.T. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação por bases e da adubação potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.12, p.2437-2446, 2000. DOI: [10.1590/S0100-204X200001200015](https://doi.org/10.1590/S0100-204X200001200015)
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; STRIEDER, M.L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, v.13, n.2, p.158-167, 2001. DOI: [10.1590/S0103-31312001000200005](https://doi.org/10.1590/S0103-31312001000200005)
- BORIN, A.L.D.C.; LANA, R.M.Q.; PEREIRA, H.S. Absorção, acúmulo e exportação de macronutrientes no milho doce cultivado em condições de campo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.1591-1597, 2010. DOI: [10.1590/S1413-70542010000700001](https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000700001)
- DOMINGUES, M.R.; BUZETTI, S.; ALVES, M.C.; SASSAKI, N. Doses de enxofre e de zinco na cultura do milho em dois sistemas de cultivo na recuperação de uma pastagem degradada. **Científica**, v.32, n.2, p.147-151, 2004.

- DUARTE, A. P.; KIEHL, J. C.; CAMARGO, D. A. F.; RECO, P. C. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 3, p. 1-20, 2003. DOI: [10.18512/1980-6477](https://doi.org/10.18512/1980-6477)
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006. 306 p.
- FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, n.2, p.36-41, 2008.
- FRANDOLOSO, J.F.; LANA, M.C.; FONTANIVA, S.; CZYCZA, R.V. Eficiência de adubos fosfatados associados a enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, v.57, n.5, p.686-694, 2010. DOI: [10.1590/S0034-737X2010000500019](https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000500019)
- HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Relação entre atributos de solos e oxidação de enxofre elementar em quarenta e duas amostras de solos do Brasil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.31, n.1, p.455-463, 2007. DOI: [10.1590/S0100-06832007000300005](https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000300005)
- HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Oxidação de enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, v.36, n.3, p.822-828, 2006. DOI: [10.1590/S0103-84782006000300015](https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000300015)
- LARA CABEZAS, W.R.; SOUZA, M.A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de ureia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.2331-2342, 2008. DOI: [10.1590/S0100-06832008000600012](https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600012)
- LAVRES JÚNIOR, J.; MONTEIRO, F.A.; SCHIAVUZZO, P.F. Concentração de enxofre, valor SPAD e produção do capim-Marandu em resposta ao enxofre. **Revista Ciências Agrárias**, v.3, n.1, p.225-231, 2008.
- MENDES, M.C.; WALTER, A.L.B.; POSSATO JUNIOR, O.; RIZZARDI, D.A.; SCHLOSSER, J. e SZEUCZUK, K. Dose de nitrogênio associado a enxofre elementar em cobertura na cultura do milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho Sorgo**, v.13, n.1, p.96-106, 2014. DOI: [10.18512/1980-6477](https://doi.org/10.18512/1980-6477)
- MIRANDA, L.N.; MIRANDA, J.C.C. **Adubação de enxofre para a cultura do milho, sob plantio convencional e direto em solo do cerrado**. Planaltina: Embrapa, 2008. (Comunicado técnico, 143).
- PROCHNOW, L.I.; FAIRCHILD, D.; OLSON, R.; LAMBAIS, M.; PEREIRA, J. Agronomic Effectiveness of Sources of Sulfur in Four Brazilian Soils. In: **American Society of Agronomy Annual Meeting**, New Orleans, LA. 2007. p.4-8.
- RHEINHEIMER, D.S.; ALVAREZ, J.W.R.; FILHO, B.D.O.; SILVA, L.S.; BORTOLUZZI, E. C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.35, n.1, p.562-569, 2005. DOI: [10.1590/S0103-84782005000300011](https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000300011)
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. Como a planta de milho se desenvolve. Piracicaba, **Potafós (Informações Agronômicas n. 103)**, arquivo do agrônomo n.15, 2003. Disponível em: [http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/DE02520B8765B8D683257AA0003C46A6/\\$FILE/Encarte103.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/DE02520B8765B8D683257AA0003C46A6/$FILE/Encarte103.pdf). Acesso em: 09 de jan. 2017.
- SILVA, D.J.; ALVAREZ, V.H.; RUIZ, H.A. Fluxo de massa e difusão de enxofre para raízes de milho em solos ácidos de Minas Gerais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.22, n.6, p.109-114, 1998. DOI: [10.1590/S0100-06831998000100015](https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000100015)
- SILVA, D.J.; VENEGAS, V.H.A.; RUIZ, H.A. SANTANNA, R. Translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p.715-721, 2003. DOI: [10.1590/S0100-204X2003000600007](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000600007)
- STIPP, S. R.; CASARIN, V. A. Importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, n.129, p.14-20, 2010. Disponível em: <http://www.ipni.net/publication/ia->

[brasil.nsf/0/DC0BC5ED9CC2127A83257A90000D6B51/\\$FILE/Page14-20-129.pdf](http://brasil.nsf/0/DC0BC5ED9CC2127A83257A90000D6B51/$FILE/Page14-20-129.pdf)>. Acesso em: 09 de jan. 2017.

VASCONCELLOS, C.A.; BARBOSA, J.V.A.; SANTOS, H.L.; FRANÇA, G.E. Acumulação de massa seca e de nutrientes por duas cultivares de milho com e sem irrigação suplementar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, n.1, p.887-901, 1983.

VASCONCELLOS, C.A.; VIANA, M.C.; FERREIRA, J.J. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período do inverno- primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.11, p.1835-1845, 1998.

VILLAS BOAS, R.L.; BOARETTO, A.E.; GODOY L.J.G.; FERNANDES, D.M. Recuperação do nitrogênio da mistura de uréia e sulfato de amônio por plantas do milho. **Bragantia**, v.64, n.2, p.263-272, 2005. DOI: **10.1590/S0006-87052005000200014**

VON PINHO, R.G.; BORGES, I.D.; PEREIRA, J.L.A.R; REIS, M.C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.2, p.157-173, 2009. DOI: **10.18512/1980-6477**