

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ**  
**CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**MESTRADO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO SULFATADA NOS TEORES DE  
MACRONUTRIENTES E NAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA  
CULTURA DA SOJA NO CERRADO**

**LILIANE OLIVEIRA LOPES**

**BOM JESUS - PI**

**2017**

**LILIANE OLIVEIRA LOPES**

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO SULFATADA NOS TEORES DE  
MACRONUTRIENTES E NAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA  
CULTURA DA SOJA NO CERRADO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal do Piauí, Campus  
Professora Cinobelina Elvas, para  
obtenção do título de “Mestre” em  
Agronomia, na área de concentração em  
Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Cleto Soares de Moura

Coorientador: Prof. Dr. Sammy Sidney Rocha Matias

BOM JESUS - PI

2017

### **Ficha Catalográfica**

L864e Lopes, Liliane Oliveira

Eficiência da adubação sulfatada nos teores de macronutrientes e nas características agronômicas da cultura da soja no cerrado. / Liliane Oliveira Lopes.– 2017.72 f.: il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Programa de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Bom Jesus-PI, 2017.

Orientação: “Prof. Dr. Márcio Cleto Soares de Moura”.

1. Fertilidade do solo 2. Enxofre 3. Nutrição de plantas  
4. Componentes de produção. I. Título.

CDD 631.42

**LILIANE OLIVEIRA LOPES**

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO SULFATADA NOS TEORES DE  
MACRONUTRIENTES E NAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA  
CULTURA DA SOJA NO CERRADO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal do Piauí, Campus  
Professora Cinobelina Elvas, para  
obtenção do título de “Mestre” em  
Agronomia, na área de concentração em  
Solos e Nutrição de Plantas.

APROVADA em 24 de fevereiro de 2017

Prof. Dr. Sammy Sidney Rocha Matias (UESPI)

Prof. Dr. Julian Junio de Jesús Lacerda (UFPI)

Prof<sup>(a)</sup>. Dra. Daniela Vieira Chaves (UFPI)

Prof. Dr. Márcio Cleto Soares de Moura (CPCE/UFPI)  
(Orientador)

BOM JESUS - PI

2017

*“Nunca deixe que lhe digam que não vale a pena acreditar nos sonhos que se têm  
ou que os seus planos nunca vão dar certo ou que você nunca vais ser alguém...”*

*(Renato Russo)  
(poeta, cantor e compositor)*

**Á minha família, que me deu  
forçaseacreditou na minha  
capacidade,e pelasrenúncias em meu  
nome.**

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, que me guia através das intuições no caminho do bem e me protegendo em todos os passos na minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Márcio Cleto Soares de Moura e coorientador, Prof. Dr. Sammy Sidney Rocha Matias pela orientação, apoio e confiança.

À Universidade Federal do Piauí (UFPI) e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade de realização do Mestrado e a FAPEPI pelo auxílio financeiro e concessão de bolsas.

Aos meus pais, por me terem dado educação e valores morais. A meu pai (in memoriam), que onde quer que esteja, nunca deixou de me amar, nem de confiar em mim. Pai, meu amor eterno. À minha mãe, amor incondicional. Mãe, você que me gerou, sempre confiou em mim e sempre fez de tudo para me ajudar a estudar.

À minha família, representada pelos meus irmãos e todos os outros familiares. Não citarei nomes, para não me esquecer de ninguém. Mas há aquelas pessoas especiais que diretamente me incentivaram a concluir mais esta etapa da minha vida.

À Fazenda Colorado, pelo apoio e oportunidade do desenvolvimento deste trabalho em campo.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, em especial aos professores Julian Junio de Jesús Lacerda e Rafael Felipe Ratke pelas orientações, acompanhamento em cada etapa da execução do projeto e discussões que muito contribuíram para a qualidade deste trabalho.

Aos colegas de mestrado e convivência, em especial, Ricardo dos Santos Lopes, Dalliane Nogueira de Souza Lira e Marcos Paulo Rodrigues Teixeira pela convivência diária no campo e laboratório e amizade que vou levar para minha vida inteira.

Enfim, a todos que contribuíram para esta realização pessoal e profissional.

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL .....	iii
GENERAL ABSTRACT .....	iv
LISTA DE TABELAS .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vi
CAPÍTULO 1 .....	1
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	3
2.1 O enxofre na cultura da soja.....	3
2.2 O enxofre no solo .....	4
2.2.1 O enxofre orgânico do solo .....	6
2.3 Fontes de enxofre para as plantas.....	7
2.4 Composição dos fertilizantes sulfatados .....	9
2.4.1 Gesso .....	9
2.4.2 Superfosfato simples .....	10
2.4.3 S elementar .....	11
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	13
CAPÍTULO 2 .....	22
RESUMO.....	22
ABSTRACT.....	23
1. INTRODUÇÃO.....	24
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
4. CONCLUSÕES .....	36
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37
CAPÍTULO 3.....	43
RESUMO.....	43
ABSTRACT.....	44
1. INTRODUÇÃO.....	45
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	49

4. CONCLUSÃO.....	54
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
ANEXOS .....	58

## RESUMO GERAL

LOPES, LILIANE OLIVEIRA. **Eficiência da adubação sulfatada nos teores de macronutrientes e nas características agronômicas da cultura da soja no cerrado.** 2017.72p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI<sup>1</sup>.

O enxofre (S) é um macronutriente essencial e suas exigências para as culturas agrícolas são inferiores às de nitrogênio e de potássio, mas similares ou superiores às de fósforo. Apesar disso, o S muitas vezes é deixado de lado no manejo da adubação de culturas. Objetivou-se avaliar o efeito de fontes e doses de fertilizantes com enxofre, sobre as características agronômicas da soja bem como os teores de nutrientes na folha, grãos e no solo do Cerrado brasileiro. O experimento foi conduzido em uma fazenda agrícola na Serra do Quilombo, município de Bom Jesus – PI. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 4 repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial com um tratamento adicional 3x5+1, totalizando 64 parcelas experimentais. Foram utilizadas fontes de enxofre: uma fonte de S elementar (90% de S), Superfosfato Simples (10% de S) e Gesso (15% de S) e cinco doses de S, 20, 40, 60, 80 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de S, mais o controle (sem adubo). Foram avaliados os seguintes parâmetros: Produtividade, eficiência agronômica (EA), altura da planta no florescimento (APF), número de vagens por planta (NVP), número de vagens com 3 grãos (NV3G), massa de mil grãos (M1000G), teor de proteína e dos macronutrientes das folhas e dos grãos de soja, análise do solo nas camadas de 0,0–0,20 e 0,20–0,40 m, quantidade de enxofre exportado no ciclo da soja e correlação entre as variáveis analisadas. A aplicação de doses e fontes de enxofre promoveu efeito nas variáveis APF, P1000G, Produtividade e EA, já o NVP só foi influenciado pelas fontes e o NV3G não se diferenciou estatisticamente em nenhum tratamento. Os tratamentos também influenciam o estado nutricional da cultura da soja tanto nas folhas como no grão e nos atributos químicos do solo. A maior produtividade foi alcançada com a dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de S com a fonte gesso (1927,31 kg ha<sup>-1</sup>).

**Palavras-chave:** Fertilidade do solo; enxofre; nutrição de plantas; componentes de produção.

---

<sup>1</sup>Orientador: Márcio Cleto Soares de Moura – UFPI/Bom Jesus

## GENERAL ABSTRACT

LOPES, LILIANE OLIVEIRA. **Efficiency of sulfate fertilization on the macronutrient contents and the agronomic characteristics of the soybean crop in the cerrado.** 2017. 72p. Dissertation (Master in Soils and Plant Nutrition) - Federal University of Piauí, PI<sup>1</sup>.

Sulfur (S) is an essential macronutrient and its requirements for agricultural crops are lower than those of nitrogen and potassium, but similar or higher than those of phosphorus. In spite of this, the S is often overlooked in crop management. The objective of this study was to evaluate the effect of sources and doses of fertilizers with sulfur on the agronomic characteristics of soybean as well as the nutrient content of leaf, grains and soil in the Brazilian Cerrado. The experiment was conducted on an agricultural farm in the Serra do Quilombo, municipality of Bom Jesus - PI. The experimental design was in randomized blocks, with 4 replicates. The treatments were arranged in a factorial scheme with an additional treatment  $3 \times 5 + 1$ , totaling 64 experimental plots. Sources of sulfur were used: a source of elemental S (90% of S), Simple Superphosphate (10% of S) and Gypsum (15% of S) and five doses of S, 20, 40, 60, 80 and 100 kg ha<sup>-1</sup> of S, plus the control (without fertilizer). The following parameters were evaluated: Productivity, agronomic efficiency (EA), plant height at flowering (APF), number of pods per plant (NVP), number of pods with 3 grains (NV3G), 1000 grains weight (M1000G), Protein content and macronutrients of leaves and soybeans, soil analysis in the layers of 0.0-0.20 and 0.20-0.40 m, amount of sulfur exported in the soybean cycle and correlation between the variables Analyzed. The application of sulfur doses and sources had an effect on the variables APF, P1000G, Productivity and AD, whereas NVP was only influenced by the sources and NV3G did not differ statistically in any treatment. The treatments also influence the nutritional status of the soybean crop in both the leaves and the grain and the chemical attributes of the soil. The highest productivity was achieved with the 80 kg ha<sup>-1</sup> dose of S with the gypsum source (1927.31 kg ha<sup>-1</sup>).

**Keywords:** Soil fertility. Sulfur. Plant nutrition. Components of production.

---

<sup>1</sup>Advisor: Márcio Cleto Soares de Moura – UFPI/Bom Jesus

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

<b>Tabela 1.</b> Fontes tradicionais para o fornecimento de enxofre.....	21
--	----

### CAPÍTULO 2

<b>Tabela 1.</b> Atributos físicos e químicos do solo antes da instalação do experimento...	38
---	----

<b>Tabela 2-</b> Atributos químicos do solo na profundidade de 0-20 cm relacionados à disponibilidade de S após a implantação do experimento.....	41
---	----

<b>Tabela 3-</b> Atributos químicos do solo na profundidade de 20-40 cm relacionados à disponibilidade de S após a implantação do experimento.....	42
--	----

<b>Tabela 4.</b> Teores de macronutrientes nas folhas da soja.....	44
--	----

<b>Tabela 5.</b> Teores de macronutrientes nos grãos da soja.....	45
---	----

<b>Tabela 6.</b> Correlação de Pearson entre a disponibilidade de S no solo nas duas profundidades, o teor de S nas folhas (S-folha) e nos grãos (S-grão), produtividade (Prod) e quantidade de S exportado (S-exp) pela soja.....	46
--	----

### CAPÍTULO 3

<b>Tabela 1.</b> Resumo das análises de variância para a produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), altura da planta no florescimento (APF), número de vagem por planta (NVP), número de grãos por vargem de 3 grãos (NV3G) e massa de milgrãos(g) (P1000G) com relação aos tratamentos e suas interações.....	61
--	----

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

**Figura 1.** Ciclo simplificado do S no solo.....19

### CAPÍTULO 2

**Figura 1.** Precipitação pluvial mensal na Fazenda Colorado, Bom Jesus - PI, entre outubro de 2015 e maio de 2016, e média histórica da precipitação pluvial em 30 anos (1986–2016). Fonte: Banco... (2016).....38

**Figura 2.** Produtividade, quantidade de S exportada e proteína nos grãos da soja em função de fontes e doses de S aplicadas no solo.....47

### CAPÍTULO 3

**Figura 1.** Precipitação pluvial mensal na Fazenda Colorado, Bom Jesus - PI, entre outubro de 2015 e maio de 2016, e média histórica da precipitação pluvial em 30 anos (1986–2016). Fonte: Banco... (2016).....58

**Figura 2.** Altura da planta no florescimento (A. e B) e massa de milgrãos(C. e D). com relação às fontes e doses de S, respectivamente.....62

**Figura 3.** Número de vagens por planta (A e B) e vagens com 3 grãos, entre as doses e fontes de fertilizantes com enxofre.....63

**Figura 4.** Produtividade (A) e eficiência agronômica (B) da soja entre as doses de S.....64

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO GERAL

Novas áreas estão sendo exploradas para incrementar a produção de alimentos, devido ao crescimento populacional. Dessa forma, o cerrado brasileiro, que já foi considerada uma área não produtiva, tornou-se área de importância estratégica para a intensificação das atividades agrossilvopastoris e de produção de alimentos, fibras e energia (Brannstrom et al., 2008; Ferreira et al., 2007). O Estado do Piauí apresenta-se como uma das últimas fronteiras agrícolas existentes no cerrado brasileiro, sendo o quarto cerrado mais importante do Brasil e o primeiro do Nordeste, ocupando uma área de quase 12 milhões de hectares (Pragana et al. 2012; Fundação Cepro, 1992).

O adequado manejo da fertilidade do solo nos cerrados piauienses é condição essencial para o sucesso da cultura da soja. A maioria dos solos do Brasil onde se cultiva essa cultura, ou aqueles que ainda serão incorporados aos processos produtivos com cultivo de culturas anuais, tem alguma deficiência de nutrientes ou desequilíbrio entre eles. Diagnosticar a capacidade dos solos em fornecer os nutrientes às plantas e planejar as adequadas estratégias de manejo das adubações constituem importantes desafios para a obtenção de altas produtividades e rentabilidades.

Por ser considerado um nutriente secundário encontrado nos solos, a importância do enxofre (S) para as culturas nem sempre foi reconhecida. As quantidades de S recomendadas para a soja e milho de acordo com a classe de teores no solo em áreas com texturas arenosas, os níveis críticos são de  $3 \text{ mg dm}^{-3}$  para a camada de 0 a 0,2 m e  $9 \text{ mg dm}^{-3}$  para a camada de 0,2 a 0,4 m (Sfredo et al., 2003). Acima destes teores há uma menor resposta à adubação com S e utiliza-se apenas a adubação de manutenção, que corresponde a 10 kg S para cada tonelada de grãos de soja e 5 kg S para cada tonelada de grãos de milho a ser produzida.

O enxofre é um dos elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento de plantas e animais, sua exigência varia muito de acordo com a espécie e com a produtividade esperada (Alvarez et al., 2007). Assim, as exigências de enxofre para as culturas agrícolas são inferiores às de nitrogênio e de potássio, mas similares ou superiores às de fósforo, dependendo da cultura (Cantarella & Montezano, 2010).

Na agricultura brasileira existem diversas opções de fontes de S, as mais comuns são, por exemplo, o gesso agrícola (15 a 18% de S), o superfosfato simples (10 a 12%

S), o enxofre elementar em pó (95 a 98% S), o enxofre elementar granulado (70% S), o enxofre elementar peletizado (90% S), o sulfato de amônio (22 a 24% de enxofre), sulfato de potássio (15 a 17% de enxofre), o sulfato de potássio e magnésio (22 a 24% de enxofre), o sulfato de cálcio (13% de enxofre) e, a utilização de formulações de fertilizantes contendo S. Todas estas opções são eficientes com relação à capacidade de suprimento de S às plantas, sendo as fontes mais comuns desse nutriente no mercado atualmente.

Um dos fertilizantes sulfatados mais utilizados na agricultura brasileira é o gesso agrícola, dependendo da distância do local de produção, é fonte barata de S. Entretanto, a maioria dos trabalhos sobre seu uso visa à melhoria do ambiente radicular de subsuperfície, nos quais são geralmente empregadas doses mais elevadas do que aquelas que visam o fornecimento de S e Ca às plantas. A gessagem é um condicionador da fertilidade do solo, em muitos casos, ela é capaz de satisfazer às exigências de enxofre as culturas. Dessa forma, para reduzir os custos de transporte e de aplicação de fertilizantes o uso de gesso pode ser uma estratégia no emprego de fórmulas de fertilizantes concentrados, geralmente sem a presença de S em sua formulação.

Já o enxofre elementar é uma opção para fornecimento deste nutriente que permite a obtenção de fórmulas concentradas, com redução nos custos de transporte e aplicação, devido ao alto conteúdo do elemento (S) presente neste adubo. Entretanto, a eficiência do enxofre elementar é menor do que as fontes solúveis, especialmente nos primeiros ciclos de cultivo (Cantarella & Montezano, 2010).

As quantidades de S extraídas pelos vegetais superiores são variáveis, de 0,02% a 1,8% na matéria seca. De modo geral, tem-se a seguinte ordem decrescente de extração: hortaliças > algodão > leguminosas > cereais e gramíneas. A deficiência de S na agricultura ocorre em diversas regiões do Brasil, em razão da baixa fertilidade do solo (Malavolta, 1982). Dessa forma, a disponibilidade de nutrientes nos solos depende das características do solo, especialmente pH (Chien et al., 2011).

Vários trabalhos de pesquisa foram executados com o objetivo de observar as respostas da soja à adubação sulfatada e o resultado encontrado foi a necessidade de adubações com S para assegurar rendimentos competitivos em várias culturas agrícolas, dentre elas a soja (Araújo et al., 2013; Dalla et al., 2013; Geng et al., 2016; Heydarnezhadet al., 2012). Nesse contexto, associar a recomendação da fonte e dose adequada de S, pode ser uma abordagem chave para aumentar o rendimento da cultura.

Dessa forma, os objetivos do presente trabalho foi determinar qual a melhor fonte de enxofre, entre as três testadas, para suprir as deficiências ou repor a quantidade extraída pela cultura da soja, avaliar características agronômicas e a produtividade da soja sob as fontes de enxofre, conhecer a melhor dose em cada uma das fontes de enxofre testadas e avaliar as características do solo, da folha e grão após a aplicação dos fertilizantes na cultura de soja.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 O enxofre na cultura da soja**

A soja (*Glycinemax* (L.) Merrill) é uma espécie de grande importância econômica no cenário agrícola para o Brasil, em virtude do volume produzido (97,2 milhões de toneladas), sendo o segundo na produção de soja no mundo, perdendo somente para os Estados Unidos (106,8 milhões de toneladas) (USDA, 2016). Proporcionados pelos altos rendimentos e pela ampla adaptação da cultura em diferentes latitudes, aliados ao alto teor proteico e lipídico, a cultura da soja constitui-se como a mais importante oleaginosa cultivada no país.

O aumento da produtividade da soja é uma demanda atual, que está associada ao aumento da produção de alimentos e da renda ao produtor rural. O principal fator limitante de produtividade da soja no Brasil, é o déficit hídrico ao longo do ciclo (Sentelhas et al., 2015), o qual ocorre em diferentes níveis e frequências nas diferentes regiões produtoras do Brasil, e que tende a aumentar nos cenários futuros de mudanças climáticas. Desse modo, é necessário se aumentar a eficiência do sistema produtivo com uma adição de fertilizantes da forma mais racional possível. Dos macronutrientes para as plantas, o enxofre é um dos elementos menos estudados (Rezende et al., 2009).

O enxofre como nutriente é essencial para o desenvolvimento de plantas e fundamental na formação da clorofila, pois participa do metabolismo dos carboidratos. Plantas com deficiência de enxofre apresentam diminuição da fotossíntese, e sua deficiência podem apresentar sintomas visíveis nas plantas. Dessa forma, a deficiência que ocorre na lavoura só é visível quando já está severa (Reis et al., 2015).

Na planta, os compostos de enxofre participam de reações fisiológicas e bioquímicas, sendo um elemento vital para todos os organismos devido ao seu importante papel na biossíntese de metionina e cisteína. Estes aminoácidos estão presentes em compostos essenciais, além de participarem de enzimas sintetizadoras de

substâncias para a planta. Como nutriente para a fisiologia vegetal, o enxofre influi na redução do nitrato, na fixação biológica do nitrogênio e na síntese de proteínas nos tecidos vegetativos e reprodutivos da planta, dessa forma tendo um papel vital na fotossíntese e fixação biológica de N (Lucheta & Lambais, 2012).

A absorção de sulfato pelas raízes é um processo ativo, dependente de energia, mediado por distintos transportadores de sulfato, que estão presentes em diferentes tipos de células. Após esse processo o sulfato é translocado através do xilema para as folhas, onde é incorporado a esqueletos carbônicos, sendo que o transporte pode ocorrer tanto no xilema quanto no floema que está prontamente trocável entre essas vias (Silva et al., 2003).

As exigências de S para as culturas são iguais ou superiores às do P. Entretanto o S é na maioria das vezes deixado como segundo plano no manejo da adubação para as culturas e quando utilizado é principalmente como nutriente acompanhante de fontes de NPK. A tendência das indústrias em produzir fertilizantes fontes de NPK cada vez mais concentrados, com objetivo de reduzir custos com transportes, tem contribuído ainda mais para a escassez desse nutriente nos solos Brasileiros. Programas de adubação na agricultura moderna não podem faltar adequado suprimento de enxofre (Cantarella & Montezano, 2010).

Malavolta (1989), destaca que o enxofre, faz parte da composição de todas as proteínas dos vegetais. É absorvido na forma de sulfato e além de ser um componente essencial das proteínas ele ajuda a manter a cor verde das folhas, promove a nodulação nas fabáceas, estimula a formação das sementes, estimula o crescimento das plantas.

## **2.2 O enxofre no solo**

O enxofre é o décimo terceiro elemento mais abundante da crosta terrestre (Bissani & Tedesco, 1988), com teor ao redor de 0,06% (Barber, 1995). Ocorre em compostos sólidos, como sais solúveis e insolúveis e na forma de gases. Os principais minerais que contêm este elemento, nas rochas e nos solos, são: o gesso, a epsomita, a mirabilita e a pirita (Tisdale et al., 1993). A aplicação de S frequentemente aumenta a disponibilidade de P em solos neutros ou básicos (Heydarnezhad et al., 2012).

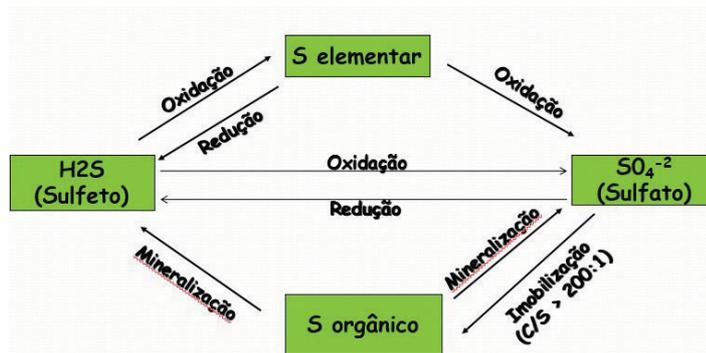
A maior parte do enxofre do solo em solos cultivados está muito relacionada com a matéria orgânica do solo. Através de transformações biológicas, semelhantes às que ocorrem com o nitrogênio, os sulfatos e os compostos de sulfato são produzidos e disponibilizados

para as plantas, através da mineralização da matéria orgânica. Como os solos do cerrado, em sua grande maioria, são naturalmente pobres em matéria orgânica, baixa fertilidade do solo, aumento de exportação dos nutrientes pelos grãos causados por produtividades elevadas, lixiviação de sulfato, uso de fertilizantes que contêm pouco ou nenhum S em sua composição, um exemplo seria fertilizantes NPK, pobre em S que podem levar à redução da disponibilidade de nutrientes para as plantas, resultando na diminuição da produção de culturas (Fernandes et al., 2007. Osório Filho et al., 2007; Rezende et al., 2009). Neste contexto, os solos tornam-se ainda mais deficientes neste elemento e aumenta-se a probabilidade de resposta das culturas agrícolas à adubação com S na região.

A entrada de S no solo pode ocorrer pelo intemperismo através de processos físicos, químicos e biológicos de minerais sulfatados, pelas águas da chuva e irrigação e pelas adições de fertilizantes minerais ou orgânicos, liberando o enxofre para os microrganismos e para as plantas. As águas da chuva (principalmente em áreas próximas a pólos industriais), os fertilizantes e os defensivos agrícolas podem ser outras fontes do elemento para o solo. Por outro lado, as saídas deste elemento estão relacionadas às exportações pelas culturas, à lixiviação, a erosão e a emissão de gases sulfurados (Stipp & Casarin, 2010; Vitti et al., 2015).

Em solos bem drenados e oxigenados predomina a forma mais oxidada, o sulfato— fonte primordial de S para as plantas. Pode ser encontrado na solução do solo, adsorvido a partículas de argila ou em complexos organominerais. Os agentes responsáveis pelas reações de oxidação são os *Thiobacillus* (MALAVOLTA, 1976).

A mineralização da matéria orgânica do solo controla o fornecimento de enxofre para as plantas, que o absorvem na solução do solo na forma do íon  $\text{SO}_4^{2-}$ , este se acumula no solo, especialmente, nos horizontes subsuperficiais devido ser facilmente lixiviado para essas camadas do solo (Figura 1). A disponibilidade de S, entretanto, depende dos processos de adsorção/dessorção, mineralização/imobilização, efeitos influenciados pelas raízes das plantas, lixiviação, dentre outros (Cantarella & Montezano, 2010; Alvarez et al. 2007). O processo de oxi-redução do S apresenta duas implicações importantes para o manejo adequado desse nutriente, a oxidação do sulfeto e do S elementar para a forma de sulfato, com redução do pH do solo e redução do sulfato para a forma de sulfeto, com elevação do pH do solo, como descrito na Figura 1, no ciclo simplificado do S no solo (Vitti et al. 2015).



**Figura 1.** Ciclo simplificado do S no solo.

Fonte: Vitti et al. 2015.

As principais fontes de S para os solos são ameteorização das rochas de minerais primários, sobretudo o sulfeto de Fe e o gesso, a deposição dos compostos de enxofre presentes na atmosfera, que atingem o solo sob a forma de sulfato, a decomposição da matéria orgânica e origens antrópicas direta como fertilizantes, pesticidas e água de irrigação (Alvarez et al. 2007).

### 2.2.1 O enxofre orgânico do solo

O S está presente no solo nas formas orgânica e inorgânica, sendo a maior parte do enxofre encontrada na forma orgânica (Freney, 1986). A maior proporção do S no solo pode variar com o tipo de solo e a sua profundidade. Dessa forma, a capacidade do solo de suprir a demanda da planta pelo nutriente está diretamente relacionada com o teor de M.O do solo e à mineralização do S orgânico para formas inorgânicas, como o sulfato (Tiecher et al., 2013). Nessa etapa o processo de mineralização é muito importante, porque transforma o S numa forma inorgânica (sulfatos) que as plantas podem absorver (Cantarella & Montezano, 2010). É o processo de maior importância no que diz respeito à disponibilidade de S para as plantas. Os microorganismos que atuam no processo de mineralização utilizam a M.O como substrato para o seu crescimento, ocorrendo tanto em condições aeróbicas (produção de  $SO_4^{2-}$ ) como em condições anaeróbicas (produção de  $H_2S$ ). Em solos bem drenados, as formas reduzidas são facilmente oxidadas a  $SO_4^{2-}$ , sendo esta forma inorgânica predominante e pela qual o enxofre é absorvido pelas plantas via sistema radicular. Entretanto as formas reduzidas,

principalmente sulfetos e  $H_2S$ , são importantes em solos alagados ou em condições de anaerobiose.

Mudanças no manejo do solo, como a introdução da calagem, afetam a taxa de mineralização e a lixiviação do  $SO_4^{2-}$  mineralizado (Melo et al., 2011). Silva et al. (1999) verificaram que a calagem aumenta a intensidade na mineralização do enxofre, em Gleissolo háplico e Latossolo Vermelho-Amarelo. Entretanto, Kliemann & Malavolta (1993) relataram que a calagem não afeta, de forma significativa, a mineralização do S em solos arenosos, com baixo teor de carbono.

É bastante discutida na literatura a real contribuição das formas orgânicas para a disponibilidade de S para as plantas, havendo trabalhos em que as porcentagens de mineralização do S orgânico são bastante diferentes. Em áreas com baixo teor de M.O, nos quais há condições ambientais desfavoráveis, com menor pH, temperatura e precipitação pluviométrica, ocasionam uma baixa decomposição dos resíduos culturais e a contribuição do S proveniente da fase orgânica do solo é pequena. Entretanto, em solos que cultivam no sistema de plantio direto, ocorre um acúmulo de M.O na superfície, ocasionando uma quantidade de S relevante na área (Cantarella & Montezano, 2010).

A deficiência de S em solos do cerrado brasileiro é devido a vários fatores dentre eles: valores baixos de matéria orgânica existente nestes solos, aumento da exportação de S pelos grãos, causada por produtividades elevadas de variedades melhoradas e lixiviação de sulfato acentuada pela aplicação de calcário e fósforo (Vitti et al., 2007). O enxofre orgânico do solo está associado a uma mistura heterogênea de microrganismos, de tecidos vegetais parcialmente transformados, de resíduos de animais e de plantas ou ligados a óxidos de Fe e Al e a argilo-minerais (Duke & Reisenauer, 1986).

### **2.3 Fontes de enxofre para as plantas**

A adubação sulfatada tem sido pouco explorada em relação aos outros nutrientes, apesar de sua importância para as plantas (Rheinheimer et al., 2007; Geng et al., 2016). Muitas vezes essa adubação é negligenciada no sistema de produção das culturas, podendo ser realizada utilizando-se tanto fontes tradicionais de S, como fontes mais modernas, principalmente as obtidas a partir do S elementar. Esse fato tem levado a redução da disponibilidade desse nutriente nos solos (Rheinheimer et al., 2005), sobretudo em solos arenosos e com baixos teores de M.O, como é os solos do cerrado

brasileiro. As fontes tradicionais para o fornecimento de S às culturas estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Fontes tradicionais para o fornecimento de enxofre.

<b>Fertilizante</b>	<b>Fórmula Química</b>	<b>Teor de S(%)</b>
Sulfato de amônio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	24
Superfosfato simples	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	12
Gesso natural ou agrícola	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	15-18
Sulfato de potássio	$\text{K}_2\text{SO}_4$	18
Sulfato de potássio e magnésio	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$	22
Sulfato de magnésio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	13
Sulfurgran	$\text{SO}_4^{2-}$	90
Tiosulfato de amônio	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	26
Polissulfato	$\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_4$	19
Kieserita	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	20

Fonte: Adaptada de Vitti et al. (2006; 2015).

Entre fontes tradicionais, as mais utilizadas na agricultura brasileira são o sulfato de amônio, o superfosfato simples e o gesso agrícola. Existem alguns fertilizantes sulfatados que apresentam uma vantagem de ter o sulfato ligado ao cálcio, o que facilita a mobilidade no perfil do solo, como é o caso do gesso agrícola e o superfosfato simples (Vitti et al., 2015).

Em áreas como as do Cerrado brasileiro, utilização de gesso agrícola tem sido apontada como excelente alternativa na correção química do perfil do solo (Soratto & Crusciol 2008, Ramos et al., 2013). Além disso, quando aplicado à superfície do solo, o  $\text{S-SO}_4^{2-}$  proveniente de sua dissolução tem capacidade de carregar cátions para as camadas subsuperficiais (Rampim et al., 2011, Serafim et al., 2012, Ramos et al., 2013).

A incorporação de S elementar (90% S) aos fertilizantes minerais é uma alternativa que vem sendo adotada como forma de diminuir os custos de produção, transporte, estocagem e aplicação, além de outras vantagens. Esta estratégia está se tornando atrativa especialmente em condições de aumento do preço do gesso agrícola, assim como em regiões onde o custo de transporte do gesso agrícola torna-se muito alto devido à distância do local de produção, como ocorre em boa parte da região do Cerrado.

## 2.4 Composição dos fertilizantes sulfatados

As principais fontes de enxofre utilizadas para suprir o nutriente às plantas são: o gesso agrícola, o sulfato de amônio e o superfosfato simples. Nestes fertilizantes, o enxofre encontra-se na forma de S-sulfato, prontamente disponível à planta (Horowitz, 2003). Entretanto, a adubação sulfatada está sendo feita cada vez mais utilizando o enxofre elementar ( $S^0$ ), por ser um fertilizante com uma maior quantidade de S em sua formulação requer quantidades menores na área para suprir a demanda do solo, sendo que o  $S^0$  quando aplicado ao solosamente é absorvido pelas plantas depois de sua oxidação a sulfato por meio de reações catalisadas, principalmente, por microrganismos, dessa forma, não estando prontamente disponível para assimilação nas plantas (Horowitz & Meurer, 2006).

### 2.4.1 Gesso

O uso de condicionadores químicos do solo como o gesso, tem sido utilizado para redução dos problemas dos solos comprometidos por sódio associado às práticas físicas e de natureza biológica como a utilização de plantas tolerantes aos efeitos dos sais. A eficiência do gesso como corretivo é dependente de vários fatores como a dissolução no solo, a granulometria das partículas do gesso, a textura do solo e o método de aplicação que poder ser incorporado ou aplicado na superfície (Leite et al., 2007).

O macronutriente enxofre ( $S-SO_4^{-2}$ ) presente no gesso é pouco utilizado em programas de fertilização do solo, visto que mais de 90 % do total presente no solo é proveniente de matéria orgânica (Basso et al., 2015). Em geral, a matéria orgânica fica concentrada na camada superficial do solo e, conseqüentemente, em algumas situações, pode ocorrer limitação da disponibilidade de enxofre nas camadas inferiores.

O gesso agrícola pode diminuir a toxidez do Al trocável para as plantas, reduzindo a atividade desse elemento na solução do solo precipitando-o e fazendo com que ele fique em formas menos tóxicas ( $AlSO_4^+$ ), além de aumentar os teores de  $Ca^{2+}$  e S no subsolo (Neis et al., 2010; Zambrosi et al., 2007). Além disso, sua ação ocorre em maior profundidade que a do calcário, pois movimenta-se cerca de 150 vezes mais (Maschietto, 2009). Ainda, o íon sulfato do gesso promove o carreamento de outras bases, como Mg e K das camadas superficiais do solo, para maiores profundidades (Silva et al., 1997; Caires et al., 2003), já que esse ânion desloca-se com facilidade para as camadas mais profundas do solo (Dias et al., 1994). Dessa forma, ocasionando um

aprofundamento e melhor distribuição no sistema radicular, pois cria melhores condições para a planta, em decorrência do aumento da disponibilidade de água e nutrientes. Isso reduz os estresses decorrentes do déficit hídrico, melhora a absorção de nutrientes e aumenta a produtividade em relação aos solos com restrições química e/ou física (Franchini et al., 2009; Piveta et al., 2011).

Em solos com excesso de sódio trocável existem vários corretivos que podem ser utilizados para recuperá-los, como gesso, enxofre, sulfato de alumínio, cloreto de cálcio e ácido sulfúrico; entretanto, o gesso é o produto mais comumente usado em razão do seu baixo custo e abundância com que é encontrada na maior parte do mundo (Melo et al., 2008).

O gesso agrícola auxilia na melhoria da estrutura por fornecer cálcio, um cátion bivalente que proporciona qualidade estrutural ao solo, sendo um subproduto da indústria de ácido fosfórico que contém principalmente sulfato de cálcio e pequenas concentrações de fósforo e flúor, é largamente disponível em várias partes do mundo (Vitti et al., 2008)

No território brasileiro, as principais reservas ocorrem associadas às bacias sedimentares entre as quais a do Araripe, que abrange os estados do Piauí, Ceará e Pernambuco, sendo este o pólo mais produtivo de gesso do País, denominado pólo gesseiro do Araripe (Nascimento & Barros, 2003; Barros et al., 2004).

Há carência de estudos com a utilização de gesso agrícola e calcário associados à produtividade de várias culturas, dentre elas a soja (Dalla Nora et al., 2013; Zandoná et al., 2015). Trabalhos têm demonstrado aumento na produtividade de grãos em algumas culturas, em razão da aplicação de gesso (Caires et al., 1999, Maschietto, 2009), entretanto já na soja em vários estudos a aplicação de gesso não resultou em aumento da produtividade de grãos de soja (Caires et al., 2006, Maschietto, 2009).

#### **2.4.2 Superfosfato simples**

O superfosfato simples (SFS) é constituído principalmente de fosfato monocalcimonohidratado e de sulfato de cálcio, foi o primeiro fertilizante mineral fabricado industrialmente (18-20%  $P_2O_5$ ), através da solubilização de ossos moídos e, posteriormente rochas fosfatadas com ácido sulfúrico em tachos de ferro (Monteiro, 2008).

O fertilizante SSP disponibiliza três macronutrientes: P, S e Ca. Sendo o P e Ca provenientes do mineral da apatita, e o enxofre oriundo do  $H_2SO_4$  utilizado

parasolubilização da apatita. De acordo com Padilha (2005), o SFS apresenta no mínimo 18 % e geralmente 19% de  $P_2O_5$ , solúvel em citrato neutro de amônio mais água e 15% em água, além de no mínimo 8% de S e 16% de Ca, reação ácida (pH 4 a 5) e pequena higroscopicidade.

A solubilidade de um fertilizante permite quantificar quanto de um determinado material fertilizante irá dissolver em água e é a característica físico-química mais importante influenciando fortemente a disponibilidade de nutrientes às plantas e o tipo de manejo fertilizante a ser adotado (Mcauley et al., 2009). No caso do SFS, devido à alta solubilidade em água, é um fertilizante de ação relativamente rápida (Monteiro, 2008), e conseqüentemente, o S presente na solução do solo está prontamente disponível para a absorção pelas plantas. A solubilidade de um fertilizante fosfatado no Brasil é estimada mediante determinações do teor de  $P_2O_5$  total do material,  $P_2O_5$  solúvel em citrato neutro de amônia (CNA) +  $H_2O$ ,  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico a 2% e  $P_2O_5$  solúvel em água (Raij et al., 2001). A solubilidade mínima exigida pela legislação nacional é de 90 % para as fontes fosfatadas de alta solubilidade (Chien et al., 2009).

### 2.4.3 S elementar

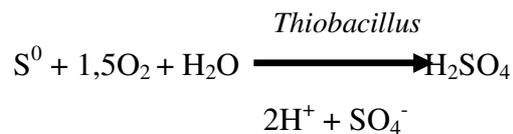
O enxofre elementar tem sido uma fonte bastante usada em alguns países e tem despertado interesse no Brasil, por sua vez, em muitos trabalhos demonstrou ser eficiente na diminuição do Na trocável, além de contribuir com a redução do pH do solo e conter alta concentração de S (aproximadamente 99%), porém esse enxofre elementar apresenta algumas deficiências de transformação no solo e mistura com outros elementos podendo apresentar recuo no crescimento das plantas (Araújo et al., 2013; Fuente et al., 2007; Mohamed et al., 2007; Stamford et al., 2007; Heydarnezhad et al., 2012; Sousa et al., 2012; Sá et al., 2013, Karimizarchi et al., 2014). O processo de oxidação do enxofre elementar ( $S^0$ ) ocorre principalmente pela ação de bactérias do gênero *Acidithiobacillus* (Stamford et al., 2002).

Cerca de 70% da produção mundial de S é obtido do  $S^0$  (Lopes et al., 2010), embora não seja a principal fonte de S utilizada diretamente na agricultura, que emprega principalmente o SFS e o sulfato de amônio com 12% e 24% de S respectivamente.

O  $S^0$  é o produto da oxidação do sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ), sendo uma forma estável. O monóxido de enxofre (SO) e sua forma hidratada, ácido sulfoxílico ( $H_2SO_2$ ) são produtos intermediários instáveis entre o  $S^0$  e o dióxido de enxofre ( $SO_2$ ). O  $SO_2$  é

um gás altamente solúvel em água que dá origem ao ácido sulfuroso ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) e sua forma dissociada sulfito ( $\text{SO}_3^{2-}$ ). A forma mais oxidada do S, que apresenta valência  $+6$ , é o trióxido de enxofre ( $\text{SO}_3$ ) formado pela junção do  $\text{SO}_2$  e um oxigênio, na presença de um catalisador, sendo sua forma hidratada o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e sua forma dissociada o íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) (Suzuki, 1999).

Deve-se observar que o S na forma elementar não pode ser absorvido diretamente pelas plantas, precisando, primeiro, ser oxidado para ser convertido em sulfato, conforme a reação abaixo:



Fonte: Vitti et al. (2015).

Observa-se que a oxidação do S elementar gera acidez (íons  $\text{H}^+$ ) no solo durante o processo. No entanto, o grau de acidificação varia dependendo da quantidade de  $\text{S}^0$  aplicada e da capacidade de tamponamento do solo (Yang et al., 2008; Lucheta & Lambais, 2012). Esse fato foi comprovado em experimento de Ferreira et al. (1977) em dois solos, um Latossolo Roxo (LR), com pH inicial de 6,4, e um Latossolo Vermelho-Escuro de textura arenosa, com pH inicial de 5,7. Aos 50 dias de incubação foi observada correlação linear negativa entre pH e quantidade de S adsorvido ao solo.

A oxidação ocorre por meio de reações catalisadas por enzimas (arisulfatases e rodanases) produzidas por microrganismos de solos, como as bactérias do gênero *Thiobacillus*, consideradas de maior importância, além de vários outros microrganismos heterotróficos (bactérias e fungos). Portanto, esse é um processo biológico que depende de várias condições ambientais propícias para que se obtenha maior eficiência na adubação (Vitti et al., 2015).

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, V.V.H.; ROSCO, R.; KURIHARA, C.H.; PEREIRA, N.F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007, p.595-644.

ARAÚJO, J.L.; SÁ, F.V.S.; NOVAES, M.C. de; OLIVEIRA, S.R. de. Crescimento inicial de cana-de-açúcar em solo salinizado corrigido com enxofre elementar. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 647-660, 2013.

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability**. A mechanistic approach. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1995. 414p.

BARROS, M. DE F.C.; FONTES, M.P.F.; ALVAREZ, V.H.; RUIZ, H.A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1,p.59-64, 2004.

BASSO, C.J.; SOMAVILLA, L.; SILVA, R.F. DA; SANTI, A.L. Intervenção mecânica e gesso agrícola para mitigar o gradiente vertical de cátions sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 456-463, 2015.

BISSANI, C.A.; TEDESCO, M. J. O enxofre no solo. In: XVII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, **Anais...** Londrina – PR. 1988.

BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; FILIPPI, A.; REDO, D.; XU, Z.; GANESH, S. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986-2002: comparative analysis and implications for land-use policy. **Land Use Policy**, v. 25, n. 04, p. 579-595, 2008.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 315-327, 1999.

CAIRES, E. F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F.J.; FERRARI, R.A.; MORGANO, M.A. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agrícola**, v. 63, n. 4, p. 370-379, 2006.

CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. & KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 275–286, 2003.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z.F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: IPNI - Brasil, v. 2, cap. 1, p. 5-46, 2010.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to increase nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, v. 102, p. 261–316, 2009.

CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; TU, S.; SNYDER, C.S. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 89, p. 229–255, 2011.

DALLA NORA, D.D.; AMADO, T.J.C.; GIRARDELLO, V.C.; MERTINS, C. Gesso: alternativa para redistribuir verticalmente nutrientes no perfil do solo sob sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v. 133, n. 1, p. 8-20, 2013.

DIAS, L.E.; ALVAREZ V., V.H.; COSTA, L.M. & NOVAIS, R.F. Dinâmica de algumas formas de S em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 373-380, 1994.

DUKE S.H.; REISENAUER, H.M. Roles and requirements of sulfur in plant nutrition. In: TABATABAI, M.A. ed. **Sulfur in agriculture**. Agronomy Monograph no. 27. Madison, WI: American Society of Agronomy, p. 123–168, 1986.

FERNANDES, M.B.; FREIRE, F.J.; COSTA, F.G.B. Gesso mineral como fonte de enxofre para cana-de-açúcar. **Caatinga**, v.20,n.4, p.101-109, 2007.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; RAMOS, M.L.G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 06, p. 1625-1635, 2007.

FERREIRA, M. E.; VITTI, G. C.; PERECIM, D.; CASTELLANE, P. D. Uso do enxofre elementar na acidificação de solos. **Revista Científica**, v. 5, n. 3, p. 287-295, 1977.

FUNDAÇÃO CEPRO. **Cerrados piauienses**. Teresina, 1992.64 p. (Estudo preliminar).

FUENTE, R.G.; CARRIÓN, C.; BOTELLA, S.; FORNES, F.; NOGUERA, V.; ABAD, M. Biological oxidation of elemental sulphur added to three composts from different feedstocks to reduce their pH for horticultural purposes. **Bioresource and Technology**, v. 98, n. 18, p. 3561-3569, 2007.

FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, ISSN 1516-781X, n.314, 39 p, 2009.

FRENEY, J.R. Forms and reactions of organic sulfur compounds in soils. In: TABATABAI, M.A., ed. **Sulfur in agriculture**. Madison, American Society of Agronomy, p.207-232, 1986 (Agronomy Monograph, 27).

GENG, J.; MA, Q.; CHEN, J.; ZHANG, M.; LI, C.; YANG, Y.; YANG, X.; ZANG, W.; LIU, Z. Effects of polymer coated urea and sulfur fertilization on yield, nitrogen use efficiency and leaf senescence of cotton. **Field Crops Research**, v. 182, p. 87-95, 2016.

HEYDARNEZHAD, F.; SHAHINROKHSAR, P.; VAHED, H.S.; BESHARATI, H. Influence of Elemental Sulfur and Sulfur Oxidizing Bacteria on Some Nutrient Deficiency in Calcareous Soils. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, 4:735-739, 2012.

HOROWITZ, N. **Oxidação e eficiência agronômica do enxofre elementar em solos do Brasil**. 2003. 127 p. Tese (Doutor em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, v.36, n.3, p.822-828, 2006.

KARIMIZARCHI, M.; AMINUDDIN, H.; YUSOP, M.K.; OTHMAN, R. Elemental sulphur application and sweet maize (*Zea mays* L.) response in a high pH soil of Malaysia. **Malaysian Journal of Soil Science**, v. 18, n. 1, p. 75-86, 2014.

KLIEMANN, H.J.; MALAVOLTA, E. Disponibilidade de enxofre em solos brasileiros: I. Avaliação dos potenciais de mineralização de nitrogênio e enxofre por incubação aberta. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 23, n. 1, p. 129-144, 1993.

LEITE, E.M.; CAVALCANTE, L.F.; DINIZ, A.A.; SANTOS, R.V. dos; ALVES, G. da S.; CAVALCANTE, I.H.L. Correção da sodicidade de dois solos irrigados em resposta à aplicação de gesso agrícola. **Irriga**, v. 12, n. 2, p. 168-176, 2007.

LOPES, A.A.; DAHER, E.; BASTOS, A.R.R.; GUILHERME, L.R.G. Suprimento e extensão das reservas de nutrientes no Brasil. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: IPNI - Brasil, 2010. v. 2, cap. 5, p. 283-305.

LUCHETA, A.R.; LAMBAIS, M.R. Revisão de literatura: Enxofre na agricultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.5, p. 1369-1379, 2012.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: Nutrição de plantas e fertilidade do solo**. 1. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1976. 528 p.

MALAVOLTA, E. **Nitrogênio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. São Paulo: Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1982. 59p.

MALAVOLTA, E.: **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: CERES, 1980, p. 251.

MALAVOLTA, E.; **ABC da Adubação**. São Paulo: Editora: Ceres, 1989, 292p.

MASCHIETTO, E. H. G. **Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.

MCAULEY, A.; JONES, C.; JACOBSEN, J. Commercial fertilizers and soil amendments. In: Nutrient Management Module No.10. **Nutrient Management a self-**

**study course from MSU Extension Continuing Education Series.** Montana StateUniversity, 2009. p. 4449-2.

MELO, L. das C.A.;AVANZI, J.C.; CARVALHO, R.; SOUZA,F.S. de; PEREIRA, J.L.A.R.; MENDES, A.D.R.;MACÊDO, G.B. Nutrição e produção de matéria seca de milhosubmetido a calagem e adubação sulfatada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 2, p. 193-199, 2011.

MELO, R.M.; BARROS, M. de F.C.;SANTOS,P.M. dos;ROLIM,M.M.Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,v.12, n.4, p.376–380, 2008.

MOHAMED, A.I.; ALI, O.M.M.A.; MATLOUB, M.N. Effect of soil amendments on some physical and chemical properties of some soils of Egypt under saline irrigation water. **AfricanCrop Science ConferenceProceedings**, v. 8, n. 1, p. 1571-1578, 2007.

MONTEIRO, M.F. **Avaliação do ciclo de vida do fertilizante superfosfato simples.** 2008. 194p. Dissertação (Mestrado profissional em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo) - Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2008.

NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, M. de F.C. **Utilização do gesso na agricultura.** Curso de gestão ambiental e otimização da exploração e utilização do gesso na região do Araripe – PE. Recife:UFRPE, 2003, 22p.

NASCIMENTO, J.A.L.; MORELLI, M. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. I. Formas nos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, n. 3, p. 131-135, 1980.

NEIS L.; PAULINO H.B.; SOUZA E.D. de;REIS E.F. dos;PINTO F.A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34 p. 409-416, 2010.

NEPTUNE, A.M.L.; TABATABAI, M.A.; HANWAY, J.J. Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus-sulfur relationships in some Brazilian and Iowa soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.39, p. 51-55, 1975.

OSÓRIO FILHO, B. D.; RHEINHEIMER, D. S.; SILVA, L. S.; KAMINSKI, J.; DIAS, G. F. Deposição do enxofre atmosférico no solo pelas precipitações pluviais e respostas de culturas à adubação sulfatada em sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.37, n.3, p.712-719, 2007.

PADILHA, C.S. **Uniformidade de aplicação de fertilizantes com diferentes características físicas**. 2005. 83 p. (Relatório de estágio do curso de Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PIVETTA, L.A.; CASTOLDI, G.; SANTOS, G. dos; ROSOLEM, C.A. Crescimento e atividade de raízes de soja em função do sistema de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1547-1554, 2011.

PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M. R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, J. A. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 36, n. 5, p. 1591-1600, 2012.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAMOS, B.Z.; TOLEDO, J.P.V.F.; LIMA, J.M. de; SERAFIM, M.E.; BASTOS, A.R.R.; GUIMARÃES, P.T.G.; COSCIONE, A.R. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1018-1026, 2013.

RAMPIM, L.; LANA, M. do C.; FRANDOLOSO, J.F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos do solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1687-1698, 2011.

REIS, P.R.; REBELLES, P.P.R.; PEREIRA, M.C.; LISKA, G.R.; MORAIS, A.R. de. Eficácia do enxofre aplicado via solo no controle da cigarrinha *Quesada gigas* (Olivier) em cafeeiro. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 527 - 536, 2015.

REZENDE, P. M.; CARVALHO, E. R.; SANTOS, J. P.; ANDRADE, M. J.B.; ALCÂNTARA, H. P. Enxofre aplicado via foliar na culturada soja [Glycinemax (L.) Merrill]. **Ciência Agrotecnologia**, v.33, n.5, p.1255-1259, 2009.

RHEINHEIMER, D.S.; ALVAREZ, J.W.R.; OSORIO FILHO, B.D.; SILVA, L.S. da; 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.3, p. 562-569, 2005.

RHEINHEIMER, D.S.; RASCHE, J.W.A.; OSORIO FILHO, B.D.; SILVA, L.S. da. Resposta à aplicação e recuperação de enxofre em cultivos de casa de vegetação em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica. **Ciência Rural**, v.37, n.2, p.363-371, 2007.

SÁ, F.V.S.; ARAUJO, J.L.; NOVAES, M.C. de; SILVA, A.P. da; PEREIRA, F.H.F.; LOPES, K.P. Crescimento inicial de arbóreas nativas em solo salino-sódico do Nordeste brasileiro tratado com corretivos. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 388-396, 2013.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A.; NENDEL, The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for a sustainable production. **Journal of Agriculture Science**, v. 153, p. 1394-1411, 2015.

SERAFIM, M.E.; LIMA, J.M. de; LIMA, V.M.P.; ZEVIANI, W.M.; PESSONI, P.T. Alterações físico-químicas e movimentação de íon sem Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. **Bragantia**, v. 71, n. 1, p. 75-81, 2012.

SFREDO, G.J.; KLEPKER, D.; SIBALDELLI, R.; MORAIS, J. Z. de. Resposta da soja à aplicação de enxofre, em Ponta Grossa, PR. In: Reunião de Pesquisa de Soja na Região Central do Brasil, 25., 2003, Uberaba, MG. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2003. p. 139-140.

SILVA, C.A.; VALE, F.R. do; ANDERSON, S.J.; KOBAL, A.R. Mineralização de nitrogênio e enxofre em solos brasileiros sob influência da calagem e fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, DF, v. 34, n. 9, p. 1679-1689, 1999.

SILVA, D.J.; VENEGAS, V.H.A.; RUIZ, H.A.; SANT'ANNA, R. Translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 715-721, 2003.

SILVA, N.M.; RAIJ, B.V.; CARVALHO, L.H.; BATAGLIA, O.C.; KONDO, J.I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, v. 56, p. 389-401, 1997.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recémimplantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 675-688, 2008.

SOUSA, F.Q.; ARAÚJO, J.L.; SILVA, A.P. da; PEREIRA, F.H.F.; SANTOS, R.V. dos; LIMA, G.S. de. Crescimento e respostas fisiológicas de espécies arbóreas em solo salinizado tratado com corretivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 173-181, 2012.

STAMFORD, N.P.; FREITAS, A.D.S.; FERRAZ, D.S.; SANTOS, C.E.R.S. Effect of sulphur inoculated with *Thiobacillus* on saline soils amendment and growth of cowpea and yam bean legumes. **Journal of Agricultural Science**, v. 139, n. 2, p. 275-281, 2002.

STAMFORD, N.P.; RIBEIRO, M.R.; CUNHA, K.P.V.; FREITAS, A.D.S.; SANTOS, C.E.R.S.; DIAS, S.H.L. Effectiveness of sulfur with *Acidithiobacillus* and gypsum in chemical attributes of a Brazilian sodic soil. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 23, n. 10, p. 1433-1439, 2007.

STIPP, S.R.; CASARIN, V. **A importância do enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI – Brasil, 2010. p. 14-20. (Informações Agrônomicas, 129).

SUZUKI, I. Oxidation of inorganic sulfur compounds: chemical and enzymatic reactions. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 45, p. 97-105, 1999.

TIECHER, T.; RHEINHEIMER, D.S. dos; ALVAREZ, J.W.R.; MALLMANN, F.J.K.; PICCIN, R.; BRUNETTO, G. Respostas de culturas à adubação sulfatada e deposição de enxofre atmosférico. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 420-427, 2013.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizers**. Cap.8: Soil and fertilizer sulfur, calcium and magnesium.5. ed. New York : MacMillan, 1993. 634p. p.266-303.

USDA - United States Department of Agriculture. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. Washington, D.C. June 10, 2016. 40p.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Org.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 300-322.

VITTI, G. C.; FAVARIN, J. L.; GALLO, L. A.; PIEDADE, S. M. S.; FARIA, M. R. M.; CICARONE, F. Assimilação foliar de enxofre elementar pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 225-229, 2007.

VITTI, G.C.; LUZ, P. H. C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. E. **Uso do gesso em sistema de produção agrícola**. Piracicaba, SP. GAPE, p. 104, 2008.

VITTI, G.C.; OTTO, R.; SAVIETO, J. **Manejo do enxofre na agricultura**. **Informações Agronômicas**, IPNI, N° 152, ISSN 2311-5904, 14 p., dezembro 2015.

YANG, Z.; HANEKLAUS, S.; SINGH, B.R. & SCHNUG, E. Effect of repeated applications of elemental sulfur on microbial population, sulfate concentration, and pH in soils. **Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 39, p. 124-140, 2008.

ZAMBROSI, F.C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 37, n. 1, p. 110-117, 2007.

ZANDONÁ, R.R.; BEUTLE, A.N.; BURG, G.M.; BARRETO, C.F.; SCHMIDT, M.R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.

## CAPÍTULO 2

### TEOR DE MACRONUTRIENTES NA SOJA E NO SOLO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO SULFATADA NO CERRADO

#### RESUMO

LOPES, Liliane Oliveira. **Teor de macronutrientes na soja e no solo em função da adubação sulfatada no cerrado.** 2017. Cap. 2, p.22-42. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI<sup>1</sup>.

Grande parte dos solos do cerrado existe baixos teores de argila e matéria orgânica, assim pode haver menor disponibilidade de enxofre (S) e, por esse motivo, espera-se que a adubação sulfatada incremente a produção das culturas. Objetivou-se avaliar o efeito de fontes e doses de fertilizantes com enxofre, sobre a produtividade da soja, bem como os teores dos macronutrientes na folha e no solo do cerrado brasileiro. O experimento foi conduzido na serra do Quilombo situada no município de Bom Jesus, Piauí, no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos em um esquema fatorial com um tratamento adicional 3x5+1, totalizando 64 unidades experimentais. Foram utilizados fontes de enxofre: S elementar (90% de S), Superfosfato Simples (10% de S) e Gesso (15% de S) e cinco doses de S, 20, 40, 60, 80 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de S, mais o controle (sem adubo). Foram avaliados os seguintes parâmetros: teor de proteína e de outros nutrientes das folhas e dos grãos de soja, análise do solo nas camadas 0–20 e 20–40 cm, produtividade, quantidade de enxofre exportado no ciclo da soja e correlação entre as variáveis analisadas. As fontes e doses de enxofre influenciam o estado nutricional da cultura da soja tanto nas folhas como no grão, além da produtividade e atributos químicos do solo. A aplicação de enxofre utilizando gesso foi a que obteve os melhores resultados com a maior produtividade na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> utilizando essa fonte.

**Palavras-chave:** nutrição de plantas, enxofre e fertilidade do solo.

---

<sup>1</sup>Orientador: Márcio Cleto Soares de Moura – UFPI/Bom Jesus

## ABSTRACT

LOPES, Liliane Oliveira. **Macronutrients content in soybean and soil in the function of sulfate fertilization in the cerrado.**2017. Chap. 2, p.22-42.Dissertation (Master in Soils and Plant Nutrition) - Federal University of Piauí, PI<sup>1</sup>.

Most of the soils of the cerrado have low levels of clay and organic matter, so there may be less availability of sulfur (S) and, therefore, sulfated fertilization is expected to increase the production of the crops. The objective of this study was to evaluate the effect of sources and doses of sulfur fertilizers on soybean yield, as well as the macronutrient contents in the Brazilian cerrado leaf and soil. The experiment was carried out in the Quilombo mountain range located in the municipality of Bom Jesus, Piauí, in a randomized complete block design, with four replications. The treatments were arranged in a factorial scheme with an additional treatment 3x5 + 1, totaling 64 experimental units. Sources of sulfur were: elemental S (90% S), Simple Superphosphate (10% S) and Gypsum (15% S) and five doses of S, 20, 40, 60, 80 and 100 kg ha<sup>-1</sup> of S, plus the control (without fertilizer). The following parameters were evaluated: protein and other nutrients content of leaves and soybean grains, soil analysis in the 0-20 and 20-40 cm layers, productivity, amount of sulfur exported in the soybean cycle and correlation between the variables Analyzed. The sources and doses of sulfur influence the nutritional status of the soybean crop in both the leaves and the grain, besides the productivity and chemical attributes of the soil. The application of sulfur using gypsum was the one that obtained the best results with the highest productivity in the dose of 80 kg ha<sup>-1</sup> using this source.

**Key words:** plant nutrition, sulfur and soil fertility.

---

<sup>1</sup>Advisor:Márcio Cleto Soares de Moura– UFPI/Bom Jesus

## 1. INTRODUÇÃO

Com base na diagnose da fertilidade do solo faz-se a recomendação de adubação para uma determinada espécie vegetal, fazendo com que essa recomendação ocorra da forma mais racional possível para minimizar custos e aumentar a produtividade da cultura (Kurihara et al., 2013). A soja é um dos cultivos extensivos mais importantes do Brasil e, por isso, há grande preocupação com a dose mais adequada de fertilizante a ser utilizada na área.

Na cultura da soja o enxofre (S) é requisitado na mesma ordem de grandeza que os nutrientes fósforo e magnésio, sendo exigidos aproximadamente 10 kg de enxofre para cada 1.000 quilos de grãos produzidos (Rezende et al., 2009). A maioria das cultivares de soja apresenta de 30 a 45% de proteínas, 15 a 25% de óleo. Os teores de proteína e de óleo da soja podem variar pelas condições climáticas, localização geográfica, cultivares, tipo de solo e práticas agrônômica (Horan, 1974; Souza et al., 2009).

A diagnose foliar possibilita verificar a deficiência de determinados nutrientes e a eficiência de adubações e estratégias de manejo. Com relação a absorção de S pelas folhas e raízes da soja dá-se nas formas de  $\text{SO}_2$ , S-cisteína,  $\text{S}^0$  e como ânion  $\text{SO}_4^{2-}$ , forma presente na solução do solo e predominantemente absorvida pelas culturas (Prates et al., 2006). O sulfato é prontamente trocável tanto nas vias xilema quanto no floema (Larson et al., 1991), chegando até as folhas, onde é incorporado a esqueletos carbônicos.

Dos macronutrientes essenciais para as plantas, o enxofre é um dos elementos menos estudado, devido a utilização de fertilizantes que contêm S, como os superfosfatos simples e sais de sulfatos com micronutrientes ou de amônio, além de que, no solo, a maior fonte é a matéria orgânica do solo (MOS), que garante o fornecimento gradual dessas plantas por causa da mineralização. Entretanto como os solos do cerrado, em sua grande maioria, são naturalmente pobres em matéria orgânica, geralmente os teores deste nutriente são baixos (Ozório Filho et al., 2007; Rezende et al., 2009). Neste contexto, os solos tornam-se ainda mais deficientes neste elemento e aumenta-se a probabilidade de resposta das culturas agrícolas à adubação com S na região.

Entre as fontes tradicionais, as mais utilizadas na agricultura brasileira são o sulfato de amônio, o superfosfato simples e o gesso agrícola. Existem alguns fertilizantes sulfatados que apresentam uma vantagem de ter o sulfato ligado ao cálcio,

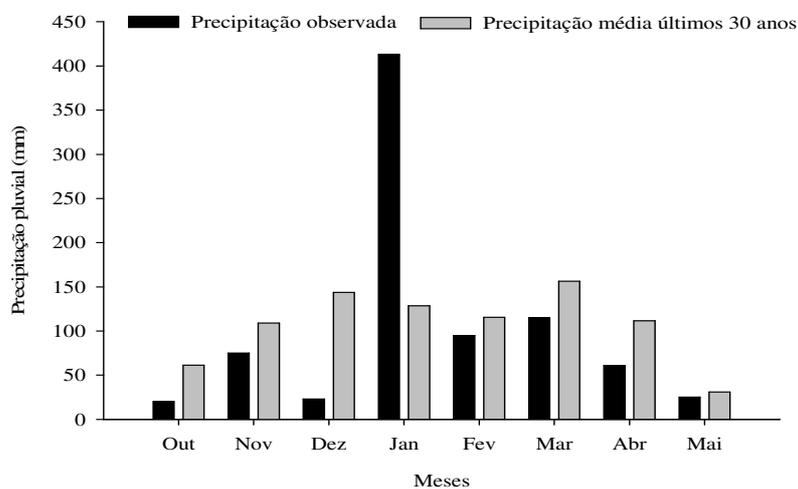
o que facilita a mobilidade no perfil do solo, esse é o caso do gesso agrícola e o superfosfato simples (Vitti et al., 2015).

Atualmente na agricultura brasileira os produtores tem utilizado o enxofre elementar para suprir a área da necessidade de S, uma vez que este possui uma característica acidificante, deixando um residual maior no solo e sendo de fácil manuseio, porém sua liberação é lenta no solo com relação a outros fertilizantes que contém S (Chien et al., 2011; Heydarnezhad et al., 2012; Karimizarchi et al., 2014). Muitos trabalhos têm relatado sua eficácia em diversos solos (Stamford et al., 2007; Mohamed et al., 2007; Sousa et al., 2012; Araújo et al., 2015).

Há poucos dados de pesquisa sobre a recomendação mais adequada da fonte e dose de S na cultura da soja para uma maior produtividade. Assim, este estudo tem por objetivo avaliar o efeito de fontes e doses de enxofre na absorção e assimilação na folha e no grão de soja, sua produtividade, a relação do enxofre nos atributos químicos do solo e a correlações entre as variáveis analisadas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo no ano agrícola 2015/2016, em uma propriedade agrícola na Serra do Quilombo, localizada no município de Bom Jesus-PI, (09°15'17" S e 44°47'72" W, a 630 m de altitude), que possui clima quente e semiúmido do tipo Aw (Köppen, 1948), com temperatura variando entre 18 e 36 °C. Na área de estudo predominam Latossolos Amarelos distróficos típicos, profundos e bem drenados, em relevo plano (Santos et al., 2013). Os dados de precipitação pluvial mensal do ano agrícola de 2015/2016 e a média histórica dos últimos 30 anos na região estão apresentados na Figura 1 (Banco..., 2016).



**Figura 1.** Precipitação pluvial mensal na Fazenda Colorado, Bom Jesus - PI, entre outubro de 2015 e maio de 2016, e média histórica da precipitação pluvial em 30 anos (1986–2016). Fonte: Banco... (2016).

A caracterização física e química do solo nas duas áreas antes da condução do experimento está descrita na Tabela 1.

**Tabela 1:** Atributos físicos e químicos do solo antes da instalação do experimento.

Prof. (cm)	pH	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V	Prem	MO	Argila
		mg dm <sup>-3</sup>			cmolc dm <sup>-3</sup>					%	mg L <sup>-1</sup>	g dm <sup>-3</sup>	
0-20	5,83	12,5	1,1	47,0	1,5	0,85	0,1	2,38	4,85	51	38,4	17,6	170
20-40	4,7	1,78	6,8	6,0	1,3	0,31	0,14	2,4	4,01	40	36,1	6,8	170

Quanto ao histórico da área foi desmatada em 2013 e no mesmo ano foi realizado a correção da acidez do solo, utilizando 8 toneladas de calcário dolomítico incorporado. Na safra 2013/2014 para implantação da cultura da soja, foi utilizado 200 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio à lanço 30 dias antes do plantio e na linha de plantio 250 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo. No ano agrícola 2014/2015, aplicou-se a lanço 20 dias antes do plantio 350 Kg ha<sup>-1</sup> do formulado 00:12:30, de NPK, respectivamente, e mais 230 Kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo na linha de plantio da soja.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, os tratamentos foram arrançados em fatorial com tratamento adicional 3 x 5 + 1, ou seja, três fertilizantes sulfurados: S elementar (90% de S), Superfosfato Simples (10% de S) e Gesso (15% de S) e cinco doses de S: 20, 40, 60, 80 e 100 kg ha<sup>-1</sup> e o tratamento adicional que foi o controle(sem adubação com S). Cada parcela foi composta de seis fileiras de 5,0 m de comprimento, sendo que a parcela útil foi obtida eliminando-se duas linhas laterais e um metro de cada extremidade como bordadura, abrangendo uma área útil da parcela de 5,4 m<sup>2</sup> por parcela.

A cultivar de soja utilizada na área experimental foi a ST 920 RR com hábito de crescimento determinado e ciclo longo, onde a semeadura foi realizada em janeiro de 2016, com uso de semeadora/adubadoracalibrada para 16 plantas por metro linear e espaçamento de 0,45 m. Com relação à adubação aplicou-se em pré-plantio (40 dias antes da semeadura) 180 kg ha<sup>-1</sup> de Cloreto de Potássio distribuído a lanço e no plantio da soja 220 kg ha<sup>-1</sup> no sulco da semeadura de MAP. Aos 15 dias após o plantio fez-se o

desbaste manualmente para manter a população da área experimental com 9 plantas por metro linear, totalizando 200 mil plantas ha<sup>-1</sup>.

Os tratos culturais e o manejo fitossanitário das parcelas experimentais seguiram os mesmos procedimentos adotados na lavoura comercial da soja, incluindo monitoramento de pragas e doenças, controle químico de plantas daninhas, aplicações de inseticidas, fungicidas e fitorreguladores.

Amostragens de solo e de folhas da soja foram realizadas no florescimento pleno (estádio R2) da cultura, para avaliar a fertilidade e o estado nutricional das plantas. Foram coletados 20 plantas para determinação dos teores na folha, em cada parcela no 3º trifólio (com pecíolo) a partir do ápice de cada planta (Boaretto et al., 2009). As folhas foram lavadas com solução detergente (1 ml L<sup>-1</sup>), e em seguida, enxaguadas com água deionizada. Posteriormente, o material vegetal foi seco em estufa a 65 °C até massa constante, obtendo-se a matéria seca. A matéria seca foi triturada em micromoinho, passada em peneira de 1 mm de abertura de malha e submetida à análise química para determinação dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S).

Os teores das análises foliar e de grãos foi determinada pelos seguintes métodos: o nitrogênio foi determinado de acordo com o método de Kjeldahl. O teor de proteína foi estimado multiplicando-se o teor de nitrogênio encontrado pelo fator 6,25. Foram realizadas, as determinações dos teores de potássio e fósforo, pela extração com solução de Mehlich 1, cálcio e magnésio, pela extração com KCL 1 mol L<sup>-1</sup> e os teores de enxofre nas folhas e nos grãos pelo método turbidimetria do sulfato de bário. Todas as análises seguiram a metodologia descrita pelos autores Miyazama et al. (2009).

Nas amostragens de solo, coletaram-se seis amostras simples, duas nas linhas e quatro nas entrelinhas de cada parcela em duas profundidades 0–20 e 20–40 cm. Após a coleta as amostras foram secadas ao ar e peneiradas (malha 2 mm). Posteriormente foram submetidas à análise para determinação do pH (H<sub>2</sub>O), MOS, P, K, Ca, S e P remanescente, conforme metodologia proposta pelos autores Silva et al. (2009).

Aos 120 dias após a semeadura (estádio fenológico R8), foi realizada a colheita manual do experimento, uma semana após as plantas apresentarem 95% das vagens maduras. A avaliação da produtividade média da soja foi realizada por meio da pesagem dos grãos colhidos na área útil da parcela, sendo que os valores encontrados foram extrapolados para kg ha<sup>-1</sup>. Após a pesagem foi coletada uma amostra de grãos em cada parcela para avaliação dos macronutrientes.

A partir dos dados de produtividade, determinou-se o teor de S exportado ( $S_{exp}$ ) pela cultura, calculado a partir da equação:

$$S_{exp} = [(\text{Teor de S no grão (g kg}^{-1}) \times \text{Produtividade da soja (kg ha}^{-1})]/1000.$$

O valor encontrado equivale a  $\text{kg ha}^{-1}$  de S que é exportado para os grãos em cada tratamento.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando encontradas diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste F foi realizada a análise de regressão para doses de S e as fontes foram comparadas médias pelo teste de Skott-Knott ao nível de 0,05 de probabilidade. O grau de relacionamento entre as variáveis foi analisado pela correlação de Pearson. Todas as operações estatísticas foram realizadas com auxílio do programa R (R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria, 2008).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme observados na Tabela 2 e 3, os resultados das análises do solo das duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) houve efeito significativo para todas as variáveis. Com relação ao pH os valores encontrados na profundidade de 0-20 cm nas doses que continham S elementar e gesso foram maiores que os encontrados com SFS. Entretanto, em vários trabalhos há relatos contrastantes sobre o efeito de S sobre o pH do solo e a disponibilidade de nutrientes (Klikocka, 2011; Safaa et al., 2013, Skwierawska et al., 2012). De acordo com Vidyalakshmi et al. (2009) a oxidação de enxofre elementar produz prótons e pode aumentar a acidez do solo. Esse resultado foi contrário ao encontrado pelos autores Stamford et al. (2007) que em seu trabalho avaliando atributos químicos do solo com enxofre associado com *Acidithiobacillus* e gesso, observou os valores de pH mais baixos para o gesso.

Ao avaliar os teores de S no solo (Tabela 2), observou-se interação significativa ao nível  $p < 0,01$  entre as fontes de variação (Fonte, Dose e Fonte\*Dose). O modelo que se ajustou aos dados foi o quadrático, com exceção somente da regressão na profundidade 0-20 cm com a fonte S elementar que observou um aumento linear entre as doses. Na profundidade de 0-20 cm entre os três fertilizantes utilizados os maiores valores ( $1,1$  a  $3,3 \text{ mg dm}^{-3}$ ) foram encontrados nos tratamentos que continham gesso. Esse resultado corrobora ao encontrado por Michalovicz et al. (2014) que em seu trabalho avaliando doses de gesso visualizaram aumentos lineares em  $\text{S-SO}_4^{2-}$  nos níveis de todas as camadas de solo.

**Tabela 2-** Atributos químicos do solo na profundidade de 0-20 cm relacionados à disponibilidade de S após a implantação do experimento.

Fontes	Doses de S	pH (H <sub>2</sub> O)	S	P	K	Ca	Mg	Prem	MO	
	kg ha <sup>-1</sup>									mg dm <sup>-3</sup>
Controle	0	5,8a	1,3b	33,4a	51,7a	2,0a	0,6a	42,2 <sup>a</sup>	18,9a	
	20	5,6a	0,7c	27,8b	39,7b	1,6a	0,4a	44,5 <sup>a</sup>	15,5a	
	40	5,5a	1,6b	38,8a	42,3b	2,0a	0,4a	43,4 <sup>a</sup>	15,8c	
	60	5,9a	1,1b	27,5b	42,8c	2,1a	0,5a	48,0a	15,5a	
	80	5,8a	1,4b	32,5a	39,1c	1,6a	0,6a	42,2 <sup>a</sup>	15,8a	
sulfurgran	100	5,9a	1,7b	32,1b	65,6a	2,3a	0,7a	39,2b	17,8a	
	Regressão	ns	ns	<sup>(1)</sup> L**	Q*	Q**	L*	L*	Q**	L**
	20	4,7b	1,6a	33,4a	70,1a	1,8a	0,7a	43,0b	16,5a	
	40	5,0b	1,5b	32,4b	49,5a	2,2a	0,5a	43,7b	21,4a	
	SFS	60	4,7b	1,5b	32,6a	48,0b	0,9a	0,2b	46,9 <sup>a</sup>	14,1a
Gesso	80	4,4c	2,2a	33,9a	46,5b	1,3a	0,4 <sup>a</sup>	48,9 <sup>a</sup>	15,6a	
	100	5,2b	2,2a	35,8a	32,0b	1,3b	0,4b	47,1 <sup>a</sup>	16,9a	
	Regressão	Q*	Q*	Q**	Q*	Q**	Q*	ns	Q*	Q**
	20	5,5a	1,1b	29,6b	40,8b	1,7a	0,6a	49,5 <sup>a</sup>	15,6a	
	40	5,7a	3,3a	28,9c	34,9c	1,4b	0,6a	47,1 <sup>a</sup>	17,4b	
Gesso	60	5,7a	1,9a	32,7a	53,5a	1,5b	0,4a	46,0a	14,2b	
	80	5,1b	1,4b	29,7b	52,4a	1,4a	0,4a	47,7 <sup>a</sup>	14,3b	
	100	5,6a	1,7b	27,1c	13,0c	2,2a	0,4b	45,2 <sup>a</sup>	16,2b	
	Regressão	ns	ns	Q**	Q**	Q**	Q**	ns	Q**	Q**

Letras comparam as doses dentro de cada fonte. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.<sup>(1)</sup>L e Q representam efeito linear e quadrático pela regressão polinomial, respectivamente. ns, \* e \*\*: não significativo e significativos a 5 e 1% pelo teste Skott-Knott, respectivamente.

Os valores de S na profundidade de 20-40 (Tabela 3) cm são maiores devido a facilidade que o sulfato tem de percolar no perfil do solo. Esse resultado já foi encontrado em outros trabalhos (Raij, 2008; Rampim et al., 2013) que descrevem, em caso de calagens elevadas, o aumento do pH provocando a redução da adsorção de sulfato, diminuindo, portanto, o efeito do gesso nas camadas superficiais, que descendo perfil abaixo. Os autores Karimizarchi & Aminuddin (2015) e Chien et al. (2011) também descrevem que o enxofre elementar faz alteração no solo aumentando a mobilidade dos nutrientes no perfil do solo e, tem uma libertação lenta na área que é aplicado.

Houve efeito nos níveis de fósforo (P) nos três fertilizantes utilizados (Tabela 2), destacando-se o maior valor (38,8 mg dm<sup>-3</sup>) para o tratamento com 40 kg ha<sup>-1</sup> de S com S elementar, entretanto quando se leva em consideração todas as doses entre o fertilizante, o SFS foi o que obteve os maiores valores (28,1 a 35,8 mg dm<sup>-3</sup>). No geral, fontes fosfatadas como o SFS pelo menos 85 – 90 % do total de P nesses fertilizantes são solúveis em água ficando mais disponíveis na solução do solo para absorção da planta (Chien et al., 2011).

**Tabela 3-** Atributos químicos do solo na profundidade de 20-40 cm relacionados à disponibilidade de S após a implantação do experimento.

Fontes	Doses de S kg ha <sup>-1</sup>	pH (H <sub>2</sub> O)	S	P	K	Ca	Prem	MO	
						cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	mg L <sup>-1</sup>	g dm <sup>-3</sup>	
Controle	0	4,6b	5,9a	26,6b	19,5b	0,5b	42,9a	9,9b	
	20	4,5b	3,9b	25,8b	11,4a	0,4a	42,9a	8,2b	
	40	4,5b	5,0c	26,0b	13,1a	0,8a	44,7b	8,3b	
	60	4,6b	5,7b	26,5c	14,6a	0,6a	41,1b	10,0a	
	80	4,5b	5,6c	27,7a	14,7a	0,3a	41,1b	7,9a	
sulfurgran	100	4,5b	6,3b	27,6b	19,1a	0,3b	43,2b	11,3a	
	Regressão		Ns	Q**	L**	L**	Q**	ns	Q*
	SFS	20	3,7b	6,4a	28,6a	11,8a	0,2b	44,6a	11,0a
		40	4,1b	6,3b	28,6a	14,1a	0,2b	45,7b	9,7a
		60	4,0b	5,2c	29,1b	13,1a	0,1b	47,6a	9,1b
80		4,0a	6,2b	28,1a	12,5b	0,1a	43,6a	6,6b	
100		4,3b	6,6b	29,4a	11,1b	0,1c	46,7a	7,9b	
Regressão		Ns	Q**	ns	Q**	ns	ns	Q**	
Gesso	20	4,4b	6,1a	26,7b	10,1a	0,1c	44,8a	8,0b	
	40	4,3b	7,3a	29,7a	9,2b	0,3b	48,8a	7,9b	
	60	4,3b	6,3a	30,9a	11,1b	0,1b	47,2a	7,9c	
	80	4,7b	6,8a	27,7a	9,7c	0,2a	43,1a	7,6a	
	100	4,5b	8,2a	24,4c	5,6c	0,7a	43,8b	8,1b	
Regressão		Ns	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	ns	

Letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada dose e fonte e letras maiúsculas comparam as fontes dentro de cada dose na mesma profundidade. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.<sup>(1)</sup>L e Q representam efeito linear e quadrático pela regressão polinomial, respectivamente. ns, \* e \*\*: não significativo e significativos a 5 e 1% pelo teste Skott-Knott, respectivamente.

O enxofre elementar elevou os teores de Ca no solo nas duas profundidades quando comparado ao SFS e gesso (Tabela 2 e 3). Esse resultado vai de encontro aos encontrados por Araujo et al. (2015) que verificaram em seu trabalho teores de Ca maiores a partir das doses de S<sup>0</sup> aplicadas. O aumento nos teores de Ca com as doses de S utilizando S elementar, ocorreu, provavelmente, devido à ação dos íons H<sup>+</sup> que acelera a hidrólise de minerais primários do solo, como observado em outros trabalhos (Araújo et al., 2013, Stamford et al., 2015), mesmo em curto período de avaliação um ano.

Os teores médios de K no solo variaram entre 13,0-70,1 a 5,6-19,1 mg dm<sup>-3</sup> nas profundidades 0-20 cm (Tabela 2) e 20-40 cm (Tabela 3), respectivamente. Para todos os tratamentos foi observada resposta quadrática, com exceção somente a profundidade 20-40 cm, utilizando o fertilizante S elementar (Tabela 3). Segundo Ernani et al. (2007), a concentração de K em solos, mesmos naqueles bem fertilizados, é normalmente inferior a 19,5 mg dm<sup>-3</sup> na profundidade de 0-20 cm, com base nos resultados da análise de solo do trabalho somente o tratamento com a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> com gesso que o teor de K

no solo na profundidade de 0-20 cm foi menor ( $13 \text{ mg dm}^{-3}$ ) do que o estipulado pelo autor.

Em relação ao teor de P remanescente (P-rem), houve diferença estatística em fontes, doses, sua interação e adicional\*fatorial, sendo que os maiores valores encontrados nas duas profundidades foi utilizando o gesso (Tabela 2 e 3). Alguns autores (Alvarez et al., 2000; Santos et al., 2008) descrevem em seus trabalhos que pode-se recomendar a aplicação de enxofre, utilizando gesso como fonte, considerando valor de P-rem existente no solo como a variável principal na variação das doses recomendadas, uma vez que esta variável reflete a capacidade tampão do solo. Isso se justifica por ser o enxofre um nutriente que tem sua disponibilidade influenciada pelo poder-tampão do solo, assim como ocorre com o fósforo, o qual pode ser medido indiretamente pelo P-rem (Rampim et al., 2013).

Houve diferença significativa na M.O entre as fontes, doses e sua interação em todas as variáveis estudadas. O maior valor encontrado na profundidade 0-20 cm (Tabela 2) foi no tratamento com  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de S utilizando o SFS, sendo este tratamento o que obteve a terceira maior produtividade ( $1764 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Entre os vários efeitos benéficos da M.O do solo, nos sistemas agrícolas, destacam-se a estimulação da microbiota do solo, condicionamento físico do solo, efeito tampão biológico e químico, controle térmico e melhor retenção de água, fazendo com que as culturas tenham um maior rendimento (Boulal et al., 2011).

Com relação à análise foliar houve diferença estatística tanto nas fontes como nas doses de S e na interação de ambas (Tabela 4). Os teores de P na folha da soja se adequaram ao modelo quadrático nas doses de S elementar e gesso, nas doses de SFS não encontramos um modelo que se adequasse aos dados. Os valores de P na folha variaram de  $1,48$  a  $2,92 \text{ g kg}^{-1}$ , sendo os maiores valores nos tratamentos com as fontes de SFS e gesso. Já para o N observou-se uma tendência linear e negativa para os valores das doses com SFS, entretanto os teores de N na folha nestas doses ficarem maiores do que os tratamentos que continham S elementar e gesso, isso pode ser explicado pela interação positivo entre o P presente no SFS com o N, ou seja um auxilia no aumento do outro na parte aérea da planta (Cantarella, 2007).

Os teores de K foliar na cultura da soja (Tabela 4), apresentando teor médio de  $18,4 \text{ g kg}^{-1}$ , bem acima do teor médio encontrado no trabalho de Mota et al. (2013) que foi de  $16,8 \text{ g kg}^{-1}$ , que avaliava os efeitos do S aplicados na forma de gesso agrícola na cultura da soja. Foi observada interação ao nível 0,01 de probabilidade, entre as doses,

fontes, interação entre estas variáveis e interação adicional versos fatorial. Com base nos valores da faixa de suficiência estabelecido pelos autores Kurihara et al. (2013), somente os tratamentos com as doses de 20, 80 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de S utilizando o S elementar ficaram abaixo da faixa de suficiência com relação aos teores de K na folha da soja.

**Tabela 4:** Teores de macronutrientes nas folhas da soja.

Fontes	Doses de S kg ha <sup>-1</sup>	N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg <sup>-1</sup>					
Controle	0	37,2	2,3	15,3	28,0	6,3	1,7
	20	37,5b	1,87b	16,15c	19,33c	5,79b	1,5a
	40	36,1b	2,07b	17,5c	22,7b	6,89b	1,7a
	60	36,4b	2,52b	18,94c	15,0b	4,5c	2,3a
	80	37,1b	2,39a	16,4c	17,58b	7,2a	2,4a
	100	39,2b	1,48c	16,24c	18,0a	10,7a	2,3a
Regressão		<sup>(1)</sup> Q**	Q**	Q**	L**	ns	Q**
SFS	20	41,2a	2,36a	17,6b	27,1b	2,7b	1,7a
	40	41,3a	2,88a	19,35b	13,9c	7,1a	1,8a
	60	39,3a	2,6b	17,78c	22,0a	8,8a	2,1a
	80	39,5a	2,61a	18,94a	10,0c	4,9b	1,7b
	100	38,9b	2,62a	17,31b	6,4c	5,9b	1,8b
	Regressão		ns	Q**	L**	L**	Q**
Gesso	20	37,8b	2,3a	18,77a	41,5 <sup>a</sup>	11,9a	1,6a
	40	36,5b	2,88a	20,1a	30,1 <sup>a</sup>	7,2a	1,7a
	60	37,8b	2,92a	25,56a	23,5 <sup>a</sup>	7,7b	2,3a
	80	38,0b	2,16b	18,74b	27,2 <sup>a</sup>	7,01a	2,4a
	100	42,2a	2,15b	19,93a	9,3b	6,3b	2,4a
	Regressão		Q**	Q**	Q**	L**	Q**

Letras comparam as fontes dentro de cada dose. Letras iguais entre as fontes dentro de cada dose não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup> L e Q representam efeito linear e quadrático pela regressão polinomial, respectivamente. ns, \* e \*\*: não significativo e significativos a 5 e 1% pelo teste Skott-Knott, respectivamente.

Os valores foliares de Ca e Mg tiveram um comportamento linearmente nas três fontes utilizadas (Tabela 4), entretanto negativamente, sendo os maiores valores nas doses menores de S. Já o Mg teve um comportamento quadrático entre seus dados com as fontes de SFS e gesso, sendo este onde se obteve os maiores teores de Ca e Mg, destacando-se a dose de 20 kg ha<sup>-1</sup> de S com 41,5 g kg<sup>-1</sup> de Ca e 11,9 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, com os maiores índices foliares. O gesso permite níveis de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> maiores em camadas mais profundas do solo, permitindo uma maior distribuição das raízes em camadas mais profundas, dando oportunidade para as culturas para recuperar maiores quantidades de água e de nutrientes (Michalovicz et al., 2014).

Com relação ao teor de S foliar (Tabela 4), todos os tratamentos foram iguais estatisticamente com exceção somente das doses de 80 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de S na fonte de SFS que diferenciaram estatisticamente das que utilizavam S elementar e gesso. Praticamente, todos os valores ficaram abaixo da faixa de suficiência nutricional relatada pelos autores Kurihara et al. (2013) e Malavolta et al. (1997) que descrevem o valor ideal para ser considerado suficiente para a cultura da soja acima de 2,1 g kg<sup>-1</sup> de S, houve exceção somente das doses 60,80 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de S com S elementar e gesso que ficaram acima do valor estipulado pelos autores.

Na análise dos grãos de soja (Tabela 5) dos tratamentos todos os macronutrientes obtiveram diferença significativa, com exceção somente do S. Esta observação corrobora os resultados obtidos por Osório Filho et al. (2007) que descrevem em seu trabalho que a adição de sulfato não aumenta o teor de S nos grãos.

**Tabela 5:** Teores de macronutrientes nos grãos da soja.

Fontes	Doses de S kg ha <sup>-1</sup>	N	P	K	Ca	Mg	S	
		g kg <sup>-1</sup>						
Controle	0	68,37	5,86	12,8	2,4	2,6	2,8	
	20	69,9b	5,9a	15,7a	2,3b	4,4b	3,3a	
	40	70,2a	5,1b	14,3a	2,5b	2,6b	3,3a	
	S elementar	60	67,9b	5,3b	14,9a	2,7b	2,9a	3,3a
		80	72,2a	4,9b	13,8a	3,8b	2,8b	3,5a
		100	100,1a	5,6b	16,1a	2,5c	3,9a	3,9a
Regressão		Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	ns	
SFS	20	71,2b	5,4b	13,8b	2,3b	2,8c	3,1a	
	40	64,7b	5,6a	14,6a	3,2a	2,9b	2,8a	
	60	71,9a	6,2a	13,9b	2,8b	2,7a	3,4a	
	80	72,1a	6,0a	14,1a	3,5b	3,9a	3,2a	
	100	82,7b	6,9a	14,0b	3,9b	3,8a	3,0a	
	Regressão		<sup>(1)</sup> Q**	L**	ns	L**	Q**	ns
Gesso	20	78,8a	5,4b	14,3b	3,4a	5,8a	3,0a	
	40	68,0a	4,9b	12,6b	3,4a	3,6a	3,0a	
	60	67,7b	5,0b	12,1c	3,9a	2,8a	3,0a	
	80	68,3a	4,4c	13,3a	4,2a	2,6b	3,1a	
	100	75,0c	4,4c	14,2b	4,6a	2,5b	3,3a	
	Regressão		Q**	L**	Q**	L**	Q**	ns

Letras comparam as fontes dentro de cada dose. Letras iguais entre as fontes dentro de cada dose não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup> L e Q representam efeito linear e quadrático pela regressão polinomial, respectivamente. ns, \* e \*\*: não significativo e significativos a 5 e 1% pelo teste Skott-Knott, respectivamente.

Os valores de médio na análise dos grãos de soja dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) foram de 73,0; 5,45; 14,5; 3,2; 3,3 e 3,2 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 5). Com base no autor Borkert et al. (1994) que avaliou nutrientes na folha e grãos de soja,

os valores de P, N, Ca e Mg estão na média e os de K e S estão abaixo da faixa normal de 17 e 5,4 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Nesta pesquisa, foram estudadas algumas correlações de acordo com o teste de correlação de Pearson (Tabela 6) e foi constatada que a produtividade da soja apresentou correlação positiva e considerada forte com base na classificação dos autores Dancey e Reidy (2006) ( $r=0,7-1,0$ ), com o S-folha ( $r=0,81^{**}$ ), utilizando gesso, e negativa com S-folha ( $r=-0,81^{**}$ ), utilizando S elementar. O S-exportado apresentou correlação positiva com o S-folha ( $r=0,75^{**}$ ), S-grão ( $r=0,81^{**}$ ), utilizando S elementar, S-grão ( $r=0,90^{**}$ ), utilizando SFS e S-folha ( $r=0,75^{**}$ ), S-grão ( $r=0,81^{**}$ ), utilizando gesso.

**Tabela 6:** Correlação de Pearson entre a disponibilidade de S no solo nas duas profundidades, o teor de S nas folhas (S-folha) e nos grãos (S-grão), produtividade (Prod) e quantidade de S exportado (S-exp) pela soja.

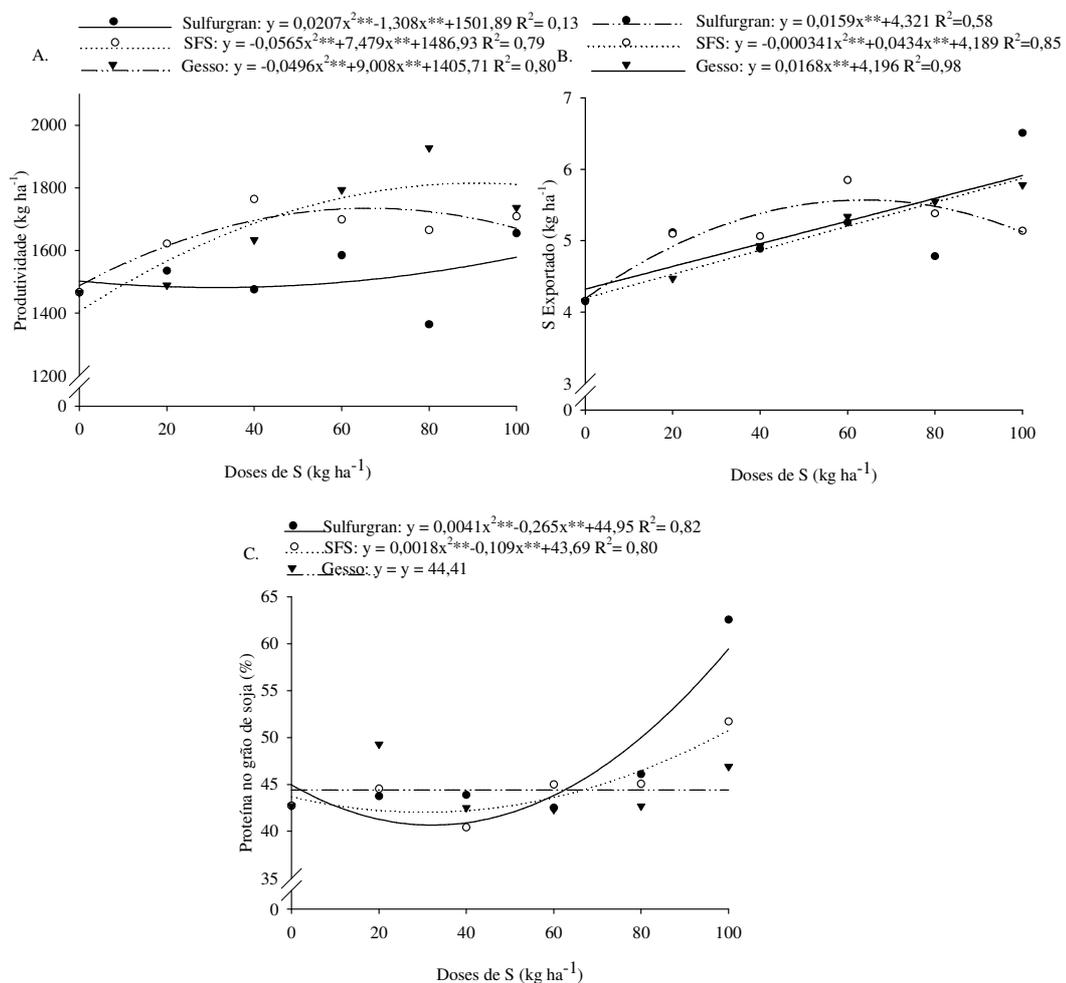
	S elementar					
	S-solo 0-20	S-solo 20-40	S-folha	S-grão	Prod	S-exp
S-solo 0-20 cm	1	0,55 <sup>**</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
S-solo 20-40 cm		1	0,62 <sup>**</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>*</sup>
S-folha			1	0,34 <sup>ns</sup>	-0,81 <sup>**</sup>	0,75 <sup>**</sup>
S-grão				1	-0,001 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>**</sup>
Prod					1	0,57 <sup>**</sup>
S-exp						1
	Superfosfato simples					
S-solo 0-20 cm	1	0,42 <sup>*</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
S-solo 20-40 cm		1	-0,28 <sup>ns</sup>	-0,41 <sup>*</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>
S-folha			1	0,35 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>*</sup>
S-grão				1	0,21 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>**</sup>
Prod					1	0,61 <sup>**</sup>
S-exp						1
	Gesso					
S-solo 0-20 cm	1	0,42 <sup>*</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
S-solo 20-40 cm		1	0,41 <sup>*</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>*</sup>
S-folha			1	0,34 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>**</sup>	0,75 <sup>**</sup>
S-grão				1	-0,001 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>**</sup>
Prod					1	0,57 <sup>**</sup>
S-exp						1

ns, \* e \*\*: não significativo e significativos a 5 e 1% pelo teste Skott-Knott, respectivamente.

Moda et al. (2013) e Tiecher et al. (2012), avaliando adubação sulfatada na cultura da soja descreveram em seus trabalhos que a aplicação de enxofre no solo promove um incremento significativo linear para o teor de enxofre foliar. Esse resultado

é contrário ao encontrado neste trabalho, pois a correlação entre o teor de S-solo\*S-folha não foi uma correlação positiva, considerada forte com base na escala de Dancey&Reidy (2006).

Os dados de produtividade foram influenciados tanto pelas doses como pelas fontes de S (Figura 2A). A maior produtividade (1927,31 kg ha<sup>-1</sup>) foi com a dose de 80 kg de S ha<sup>-1</sup> utilizando gesso. As equações encontradas ajustaram-se de maneira quadrática nas três fontes utilizadas (SFS, gesso e S elementar), com ponto de máxima produtividade com 66,18; 91 e 31,6 kg ha<sup>-1</sup> de S, respectivamente. Outros trabalhos (Basso et al., 2015; Zandoná et al., 2015) também comprovam o aumento de produtividade da soja com a aplicação de gesso e o deslocamento vertical do ânion S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> no perfil do solo aumentando o rendimento da cultura.



**Figura 2:** Produtividade, quantidade de S exportada e proteína nos grãos da soja em função de fontes e doses de S aplicadas no solo.

A maior produtividade foi alcançada com a aplicação de gesso possivelmente em razão do aumento dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  em todo o perfil de solo, juntamente com o aumento do pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) na camada de 0-20 cm, para valores superiores a 5,0, próximos ao ideal para a cultura da soja, ocasionando baixa nos teores de  $\text{Al}^{3+}$ , propiciando condições químicas mais favoráveis ao desenvolvimento radicular, absorção de água e nutrientes. Resultados semelhantes foram obtidos por Costa (2011) e Zandoná et al. (2015), que avaliaram doses de gesso e verificaram aumento na produtividade da soja.

Os maiores valores tanto no S exportado como no teor de proteína foram nas maiores doses  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de S nos três adubos utilizados (Figura 2B e C). Os valores do S exportado variaram de 4,15 a  $6,51 \text{ kg de S ha}^{-1}$ , sendo que esses valores se ajustaram ao modelo quadrático nas doses que continham SFS e cresceram linearmente nas doses com S elementar e gesso. As quantidades de S exportadas pelos grãos de soja estão dentro dos valores encontrados por Osório Filho et al. (2007) (entre 3 e  $10 \text{ kg de S ha}^{-1}$ ) e são inferiores às apresentadas na revisão de Scherer (2001).

Os teores de proteína variam de 40 a 64,5% (Figura 2C), sendo o valor proteico na maior produtividade na dose  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de S para fonte gesso, foi menor do que para outros tratamentos (42,7%). Alguns autores sugerem que a produtividade é inversamente correlacionada com o teor de proteínas nos grãos (Souza et al., 2009; Voldeng et al., 1997; Wilcox&Guodong, 1997). Isso ocorre, segundo Bhatai&Rabson (1976), em função da competição por esqueletos de carbono disponíveis para a produção de carboidratos e proteína.

#### **4. CONCLUSÕES**

Independentemente da dose e da natureza da fonte de enxofre aplicada, essas duas variáveis interferem tanto nos valores foliares como nos de grãos da soja.

Houve respostas de produtividade da cultura da soja em relação às diferentes doses e fontes de enxofre aplicadas, com destaque para a dose de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de S com a fonte com gesso, onde se verificou a maior produtividade da cultura ( $1927,31 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

O enxofre exportado tem correlação com os teores de enxofre na folha, grão e na produtividade da soja.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. **Determinação e uso do fósforo remanescente**. Boletim Informativo, Viçosa, v. 25, p. 27- 33, 2000.

ARAUJO, J.L.;SÁ, F.V.S.;Novaes, M.C. de; OLIVEIRA, S.R. de. Crescimento inicial de craibeira em solo salinizado corrigido com enxofre elementar. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 647-660, 2013.

ARAUJO, J.L.; SEVERO, P.J. da S.; LUCENA, F.T.C.;VERIATO, R.G.; PAIVA, K.F. de. Enxofre elementar ou sulfato de cálcio para remediação de solos salino-sódicos? **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 388-396, 2015.

BANCO de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. Série histórica. Dados mensais. Bom Jesus (PI). (2016). Brasília: **Instituto Nacional de Meteorologia**, [2016]. Disponível em: <[BASSO, C.J.; SOMAVILLA, L.; SILVA, R.F. da; SANTI, A.L. Intervenção mecânica e gesso agrícola para mitigar o gradiente vertical de cátions sob sistema de plantio direto. \*\*Pesquisa Agropecuária Tropical\*\*, v. 45, n. 4, p. 456-463, 2015.](http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/gera_serie_txt_mensal.php?&mRelEstacao=82975&btnProcesso=serie&mRelDtInicio=31/10/1986&mRelDtFim=31/05/2016&mAtributos=,,,,,,,1,,,,,></a>>. Acesso em 01 out. 2016.</p></div><div data-bbox=)

BHATAI, C.R.; RABSON, R. Bioenergetic considerations in cereal breeding for protein improvement. **Science**, New York, v.194, p.1418-1421, 1976.

BOARETTO, A.E.; VAN RAIJ, B.; SILVA, F.C.; CHITOLINA, J.C.; TEDESCO, M.J.; CARMO, C.A.F.S. do. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de plantas para análise química. IN: SILVA, F.C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p.59-85.

BORKERT, C.M.; YORINORI, J.T.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; ALMEIDA, A.M.R.; FERREIRA, L.P.; SFREDO, G.J. **Seja o doutor da sua soja**. Arquivo do agrônomo, Nº 5, Informações Agronômicas - nº 66 – junho, 1994.

BOULAL, H.; GÓMEZ-MACPHERSON, H.; GÓMEZ, J.A.; MATEOS, L. Effect of soil management and traffic on soil erosion in irrigated annual crops. **Journal Soil & Tillage Research**, v. 115, p. 62–70, 2011.

CANTARELLA, H. NITROGÊNIO. IN: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.V.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Sociedade brasileira de ciência do solo, Viçosa-MG, 1017p. 2007.

CHIEN, S.H.; GEARHART, M.M.; VILLAGARCÍA, S. Comparison of ammonium sulfate with other nitrogen and sulfur fertilizers in increasing crop production and minimizing environmental impact: a review. **Soil Science**, v. 176, n. 7, p. 327-335, 2011.

COSTA, C. H. M. **Efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso nas culturas de soja, aveia-preta e sorgo granífero**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed, 2006.

ERNANI, P.R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J.A. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 393-402, 2007.

HEYDARNEZHAD, F.; SHAHINROKHSAR, P.; VAHED, H.S.; BESHARATI, H. Influence of elemental sulfur and sulfur oxidizing bacteria on some nutrient deficiency in calcareous soils. **International Journal of Agriculture and Crop Science**, v. 12, n. 4, p. 735-739, 2012.

HORAN, F.E. Soy protein products and their production. **Journal of the American Oil Chemists Society**, New York, v.51, n.1, p.67-73, 1974.

KARIMIZARCHI, M.; AMINUDDIN, H.; KHANIF, M.Y.; RADZIAH, O. Elemental sulphur application and sweet maize (*Zea mays* L.) response in a high pH soil of Malaysia. **Malaysian Journal of Soil Science**, v. 18, p. 75-86, 2014.

KARIMIZARCHI M.; AMINUDDIN H. Effect of elemental sulphur on soil micronutrients mobility. **Journal of Agricultural Science and Food Technology**, v. 1 n. 3, p. 34-42, 2015.

KLIKOCCA, H. The effect of sulphur kind and dose on content and uptake of micro-nutrients by potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v. 10, n. 2, p. 137-151, 2011.

KÖPPEN, W. **Climatología con un estudio de los climas de la tierra**. México: FCE, 1948, 479p.

KURIHARA, C.H.; VENEGAS, V.H.A.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. de; STAUT, L.A. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. **Revista Ceres**, v. 60, n.3, p. 412-419, 2013.

LARSON, M.; PUERVES, J. V.; CLARCKSON, D. T. Translocation and cycling through roots of recently absorbed nitrogen and sulfur in wheat (*Triticum aestivum*) during vegetative and generative growth. **Physiologia Plantarum, Copenhagen**, v. 82, p. 345-352, 1991.

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

MICHALOVICZ, L.; MÜLLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.S.; KAWAKAMI, J.; NASCIMENTO, R. DO; KRAMER, L.F.M. Soil fertility, nutrition and yield of maize and barley with gypsum application on soil surface in no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.5, 2014.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; MURAOKA, T.; CARMO, C.A.F.S. do; MELO, W.J. de. Análise química de tecido vegetal. IN: SILVA, F.C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª ed. Brasília-DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

MODA, L.R.; BORGES, B.M.M.N.; FLORES, R.A.; SANTOS, C.L.R. dos; PRADO, R. de M.; SOUSA, J.I. de. Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e sem adubação potássica. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 7, n. 2, p. 129-135, 2013.

MOHAMED, A.I.; ALI, O.M.M.A.; MATLOUB, M.N. Effect of soil amendments on some physical and chemical properties of some soils of Egypt under saline irrigation water. **AfricanCrop Science ConferenceProceedings**, v. 8, n. 1, p. 1571-1578, 2007.

OSÓRIO FILHO, B.D.; RHEINHEIMER, D. dos S.; SILVA, L.S. da; DIAS, J.K.G.F. Deposição do enxofre atmosférico no solo pelas precipitações pluviais e respostas de culturas à adubação sulfatada em sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.37, n.3, p.712-719, 2007.

PRATES, H.S.; LAVRES JÚNIOR, J.; MORAES, M.F. **O enxofre como nutriente e agente contra pragas e doenças**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 115, p. 8-9, 2006.

RAIJ, B.V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008, 233 p.

RAMPIM L.; LANA M. do C.; FRANDOLOSO J.F. Fósforo e enxofre disponível, alumínio trocável e fósforo remanescente em latossolo vermelho submetido ao gesso cultivado com trigo e soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1623-1638, 2013.

R Development Core Team. 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

REZENDE, P. M.; CARVALHO, E. R.; SANTOS, J. P.; ANDRADE, M. J.B.; ALCÂNTARA, H. P. Enxofre aplicado via foliar na culturada soja [Glycinemax (L.) Merrill]. **Ciência Agrotecnologia**, v.33, n.5, p.1255-1259, 2009.

SAFAA, M.M.; KHALED, S.M.; HANAN. S. Effect of Elemental Sulphur on Solubility of Soil Nutrients and Soil Heavy Metals and Their Uptake by Maize Plants. **Journalof American Science**, v. 9, n.12, p. 19-24, 2013.

SANTOS, F. C.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1661-1674, 2008.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T.J.F.;

OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SCHERER, H.W. Sulphur in crop production. **European Journal of Agronomy**, v.14, p.81–111, 2001.

SILVA, F.C. da; ABREU, M.F. de; PEREZ, V.D.; EIRA, P.A. da; ABREU, C.A. de; RAIJ, B.V.; GIANELLO, C.; COELHO, A.M.; QUAGGIO, J.A.; TEDESCO, M.J.; SILVA, C.A.; BARRETO, W. de O. Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. IN: SILVA, F.C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª ed. Brasília-DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SKWIERAWSKA, M.; ZAWARTKA, L.; SKWIERAWSKI, A.; NOGALSKA, A. The effect of different sulfur doses and forms on changes of soil heavy metals. **Plant Soil Environ**, v.58, n. 3, p. 135–140, 2012.

SOUZA, L.C.F. de; ZANON, G.D.; PEDROSO, F.F.; ANDRADE, L.H.L. de. Teor de proteína e de óleo nos grãos de soja em função do tratamento de sementes e aplicação de micronutrientes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 6, p. 1586-1593, 2009.

SOUSA, F.Q.; ARAÚJO, J.L.; SILVA, A.P. da; PEREIRA, F.H.F.; SANTOS, R.V. dos; LIMA, G.S. de. Crescimento e respostas fisiológicas de espécies arbóreas em solo salinizado tratado com corretivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 173-181, 2012.

STAMFORD, N.P.; RIBEIRO, M.R.; CUNHA, K.P.V.; FREITAS, A.D.S.; SANTOS, C.E.R.S.; DIAS, S.H.L. Effectiveness of sulfur with *Acidithiobacillus* and gypsum in chemical attributes of a Brazilian sodic soil. **World Journal of Microbiology Biotechnology**, v. 23, n. 10, p. 1433-1439, 2007.

STAMFORD, N.P.; FIGUEIREDO, M.V.B.; SILVA JUNIOR, S. DA; FREITAS, A.D.S.; SANTOS, C.E.R.S.; LIRA JÚNIOR, M.A. Effect of gypsum and sulfur with *Acidithiobacillus* on soil salinity alleviation and on cowpea biomass and nutrient status as affected by PK rock biofertilizer. **Scientia Horticulturae**, v. 192, n. 1, p. 287-292, 2015.

TIECHER, T.; SANTOS, D.R. dos; RASCHE, J.W.A.; BRUNETTO, G.; MALLMANN, F.J.K.; PICCIN, R. Resposta de culturas e disponibilidade de enxofre em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica submetidos à adubação sulfatada. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p.518-527, 2012.

VIDYALAKSHMI, R.; PARANTHAMAN, R.; BHAKYARAJ, R. Sulphur Oxidizing Bacteria and Pulse Nutrition-A Review. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 5, n. 3, p. 270-278, 2009.

VITTI, G.C.; OTTO, R.; SAVIETO, J. **Manejo do enxofre na agricultura. Informações Agronômicas**, IPNI, N° 152, ISSN 2311-5904, 14 p., dezembro 2015.

VOLDENG, H.D.; CORBER, E.R.; HUME, D.J.; GILLARD, C.; MORRISON, M.J. Fifty-eight years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. **Crop Science**, v.37, p.428-431, 1997.

WILCOX, J.R.; GUODONG, Z. Relationship between seed yield and seed protein in determinate and indeterminate soybean populations. **Crop Science**, v.37, p.361-364, 1997.

ZANDONÁ, R.R.; BEUTLER, A.N.; BURG, G.M.; BARRETO, C.F.; SCHMIDT, M.R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.

## CAPÍTULO 3

### EFICIÊNCIA DE FONTES E DOSES DE ENXOFRE NA CULTURA DA SOJA

#### RESUMO

LOPES, Liliane Oliveira. **Eficiência de fontes e doses de enxofre na cultura da soja**. 2017. Cap. 3, p.43-57. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI<sup>1</sup>.

O enxofre (S) é um macronutriente essencial e suas exigências para as culturas agrícolas são inferiores às de nitrogênio e de potássio, mas similares ou superiores às de fósforo. Apesar disso, o S muitas vezes é deixado de lado no manejo da adubação de culturas. Dessa forma, objetivou-se avaliar doses e fontes de enxofre (S) no cerrado, no sudoeste piauiense na cultura da soja. O experimento foi conduzido em uma fazenda agrícola na Serra do Quilombo, município de Bom Jesus – PI. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 4 repetições. Os tratamentos foram dispostos em um esquema fatorial com um tratamento adicional 3x5+1, totalizando 64 unidades experimentais. Foram utilizadas fontes de enxofre: S elementar (90% de S), Superfosfato Simples (10% de S) e Gesso (15% de S) e cinco doses de S, 20, 40, 60, 80 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de S, mais o controle (sem adubo). Foram avaliados os seguintes parâmetros: Produtividade, eficiência agrônômica (EA), altura da planta no florescimento (APF), número de vagens por planta (NVP), número de vagens com 3 grãos (NV3G) e massa de milgrãos (M1000G). A aplicação de doses e fontes de enxofre promoveu efeito nas variáveis APF, P1000G, produtividade e EA, já o NVP só foi influenciado pelas fontes e o NV3G não se diferenciou estatisticamente em nenhum tratamento. A maior produtividade foi alcançada com a dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de S com a fonte gesso (1927,31 kg ha<sup>-1</sup>).

**Palavras-Chave:** Fertilidade do solo; *Glycinemax*; produtividade de grãos.

---

<sup>1</sup>Orientador: Márcio Cleto Soares de Moura – UFPI/Bom Jesus

## ABSTRACT

LOPES, LILIANE OLIVEIRA. **Efficiency of sources and sulfur doses in soybean crop.** 2017. Chap. 3, p.43-57. Dissertation (Master in Soils and Plant Nutrition) - Federal University of Piauí, PI<sup>1</sup>.

Sulfur (S) is an essential macronutrient and its requirements for agricultural crops are inferior to those of nitrogen and potassium, but similar or higher than those of phosphorus. In spite of this, S is often overlooked in the management of crop fertilization. Thus, the objective of this study was to evaluate sulfur (S) rates and sources in the cerrado, in the south of Piauí, in the soybean crop. The experiment was conducted on an agricultural farm in the Sierra of Quilombo, municipality of Bom Jesus - PI. The experimental design was in randomized blocks, with 4 replicates. The treatments were arranged in a factorial scheme with an additional treatment 3x5 + 1, totaling 64 experimental units. Sources of sulfur were used: S elemental (90% of S), Simple Superphosphate (10% of S) and Gypsum (15% of S) and five doses of S, 20, 40, 60, 80 and 100 kg ha<sup>-1</sup> of S, plus the control (without fertilizer). The following parameters were evaluated: Productivity, agronomic efficiency (EA), plant height at flowering (APF), number of pods per plant (NVP), number of pods with 3 grains (NV3G) and mass of 1000 grains (M1000G). The application of sulfur doses and sources promoted an effect on the variables APF, P1000G, productivity and EA, whereas NVP was only influenced by the sources and NV3G did not differ statistically in any treatment. The highest productivity was achieved with the 80 kg ha<sup>-1</sup> dose of S with gypsum source (1927.31 kg ha<sup>-1</sup>).

**Key Words:** Soil fertility; *Glycine max* (L.) Merrill; grainyield.

---

<sup>1</sup>Advisor: Márcio Cleto Soares de Moura – UFPI/Bom Jesus

## 1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycinemax* (L.) Merrill) é uma espécie de grande importância econômica no cenário agrícola Brasileiro, sendo o segundo maior produtor, ficando atrás dos Estados Unidos da América, com uma produção de 96,50 milhões de toneladas, contra 106,86 milhões de toneladas dos EUA na safra 2015/2016 (CONAB, 2016). Essa produção é reflexo de vários fatores entre eles a aplicação correta dos fertilizantes, que chegam a custar entre 25 a 36% do produto final. Portanto a sua correta utilização pode significar a diferença entre lucro ou prejuízo (Guareschi et al., 2008).

A região do Cerrado, embora tenha solos com baixa fertilidade, é privilegiada, por possuir condições climáticas adequadas para o cultivo da soja, além de solos com topografia plana, que facilitam a mecanização e possuir ampla adaptação aos climas subtropicais e tropicais presentes no Cerrado (Almeida et al., 2011; Neves et al., 2013).

A eficiência nutricional é definida de várias maneiras na literatura, mas os componentes mais comuns da eficiência são absorção e utilização de nutrientes na soja, principalmente, em solos com baixa fertilidade como os solos do Cerrado, dessa forma, a produção de grãos é o melhor parâmetro para avaliação da eficiência nutricional em culturas anuais (Fageria, 1998).

Apesar do enxofre (S) ser denominado um macronutriente secundário, nota-se que as exigências pelas culturas variam muito de acordo com a espécie e com a produtividade esperada, sendo que as quantidades extraídas em muitas plantas de interesse econômico superam às de fósforo (macronutriente primário), como por exemplo, as Fabáceas (soja), que são mais exigentes que as Poáceas (milho), em função de seu teor mais elevado de proteínas (Broch et al., 2011; Tiecher et al., 2013).

A aplicação de fertilizantes ou nutrientes isolados em vez do composto pode possibilitar maior retorno financeiro ao produtor, dessa forma, a introdução do enxofre (S) de forma isolada nas culturas, ainda é algo novo a ser estudado, entretanto estudos vêm sendo realizada com a aplicação de S e fontes diferentes (Rheinheimer et al., 2005; Richart et al., 2006; Broch et al., 2011; Chien et al., 2011; Karimizarchi et al., 2014). Além destes trabalhos, destacamos que o S atua diretamente nos aminoácidos essenciais, sendo que sua ausência retarda o crescimento das plantas e a síntese de proteínas presentes nos grãos (Broch et al., 2011).

Cerca de 70% da produção mundial de S é obtido do enxofre elementar (S<sup>0</sup>) (Lopes et al., 2010), embora não seja a principal fonte de S utilizada diretamente na agricultura, que emprega principalmente o SFS e o sulfato de amônio com 12% e 24%

de S respectivamente. Dessa forma o  $S^0$  pode ser uma opção em decorrência do alto conteúdo de S (85 a 99%), porém sua liberação é lenta no solo com relação a outros fertilizantes que contém S (Heydarnezhad et al., 2012; Karimizarchi et al., 2014).

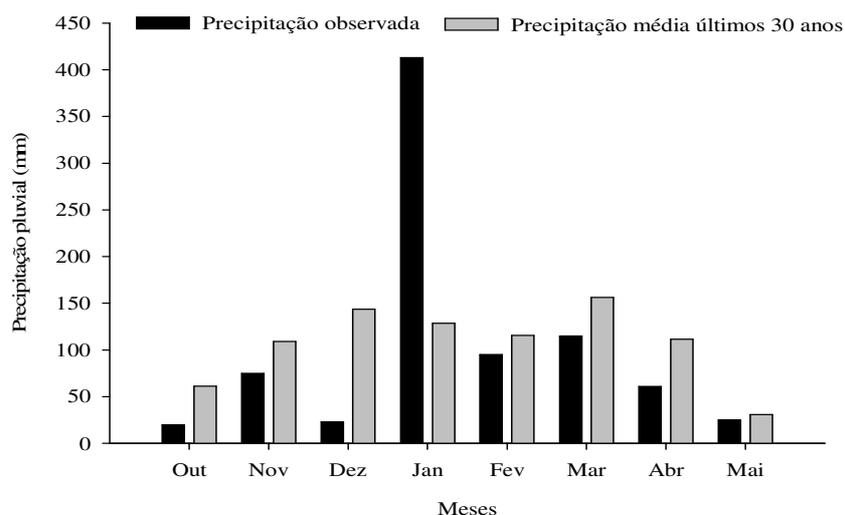
As fontes de S mais utilizadas na agricultura brasileira para aplicação no solo é o superfosfato simples (SFS) e gesso. A utilização do SFS é reflexo da alta solubilidade em água, com teor que varia entre 8-12% de  $S-SO_4^{2-}$  na sua composição, disponibilizando facilmente para as culturas, outras fontes, como o S elementar, precisam sofrer algumas reações de oxidação no solo para ficarem disponíveis, sendo transformados em  $SO_4^{2-}$  (Broch et al., 2011; Heydarnezhad et al., 2012).

O macronutriente enxofre ( $S-SO_4^{2-}$ ) presente no gesso é pouco utilizado em programas de fertilização, entretanto, a sua eficiência em permitir o deslocamento dos nutrientes em profundidade tem possibilitado a disponibilidade de nutrientes ao longo do perfil do solo, favorecendo a movimentação de alguns nutrientes para as camadas mais inferiores do solo, aumentando os teores de Ca e S no perfil (Pauletti et al., 2014).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar, em condições de campo, o efeito de fontes e doses de enxofre sobre as características agrônômicas, sua produtividade e a eficiência agrônômica na cultura da soja no cerrado piauiense.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido em condições de campo no ano agrícola 2015/2016, em uma propriedade agrícola na Serra do Quilombo, localizada no município de Bom Jesus-PI, (09°15'17" S e 44°47'72" W, a 630 m de altitude). Na área de estudo predominam Latossolos Amarelos distróficos típicos, profundos e bem drenados, em relevo plano (Santos et al., 2013). Os dados de precipitação pluvial mensal do ano agrícola de 2015/2016 e a média histórica dos últimos 30 anos na região estão apresentados na Figura 1 (Banco..., 2016).



**Figura 1.** Precipitação pluvial mensal na Fazenda Colorado, Bom Jesus - PI, entre outubro de 2015 e maio de 2016, e média histórica da precipitação pluvial em 30 anos (1986–2016). Fonte: Banco... (2016).

Os resultados da análise química de solo, na profundidade de 0-0,2 m, antes da instalação do experimento foram: pH (H<sub>2</sub>O) = 5,83; M.O = 17,58 g dm<sup>-3</sup>; P (Mehlich) = 12,54 mg dm<sup>-3</sup>; K = 0,12 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca = 1,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,85 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 1,10 mg dm<sup>-3</sup>; Al = 0,01 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al = 2,38 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC = 4,85 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e V = 51 %. Quanto à composição granulométrica, o solo possui 17, 76 e 7 g kg<sup>-1</sup> de argila, areia e silte, respectivamente, sendo classificado como textura arenosa.

A área foi desmatada em 2013 e no mesmo ano para a correção da acidez do solo foram utilizados 8 toneladas de calcário dolomítico e incorporado, na safra 2013/2014 para implantação da cultura da soja, foi utilizado 200 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de Potássio a lanço 30 dias antes do plantio e na linha de plantio 250 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo. No ano agrícola 2014/2015, aplicou-se a lanço 20 dias antes do plantio 350 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 00:12:30, de NPK, respectivamente, e mais 230 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo na linha de plantio.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, os tratamentos foram arranjados em fatorial com um tratamento adicional 3 x 5 + 1, ou seja, três fertilizantes sulfurados: S elementar (90% de S), Superfosfato Simples (10% de S) e Gesso (15% de S) e cinco doses: 20, 40, 60, 80 e 100 kg ha<sup>-1</sup> e o tratamento adicional que foi o controle (sem adubação com S). A dose total do fertilizante a ser utilizado em cada parcela foi dividida em 4 quadrantes orientados por cordões e

distribuídos a lanço manualmente 30 dias antes do plantio da soja. Cada parcela foi composta de seis fileiras de 5,0 m de comprimento, sendo que a parcela útil foi obtida eliminando-se duas linhas laterais e um metro de cada extremidade a título de bordadura, abrangendo uma área útil de 5,4 m<sup>2</sup> por parcela.

A cultivar de soja utilizada na área experimental foi a ST 920 RR, tem hábito de crescimento determinado, sistema radicular robusto e profundo, exigência de fertilidade média e adequada a região do cerrado piauiense. A semeadura foi realizada em janeiro de 2016, com uso de semeadora/adubador calibrada para 16 plantas por metro linear e espaçamento de 0,45 m. Com relação à adubação aplicou-se em pré-plantio (40 dias antes da semeadura) 180 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio distribuído a lanço e no plantio 220 kg ha<sup>-1</sup> no sulco da semeadura o fertilizante NPK com formulação 10:49:00. Aos 15 dias após o plantio, fez-se o desbaste, manualmente, para manter a população da área experimental com 9 plantas por metro linear, totalizando 200 mil plantas ha<sup>-1</sup>.

Os tratamentos culturais e o manejo fitossanitário das parcelas experimentais seguiram os mesmos procedimentos adotados na lavoura comercial da soja, incluindo monitoramento de pragas e doenças, controle químico de plantas daninhas, aplicações de inseticidas, fungicidas e fitorreguladores.

Aos 60 dias após a emergência (DAE) (estádio fenológico R2), foram realizadas avaliações da altura de planta no florescimento (APF), onde se procedeu à escolha aleatória de 10 plantas por parcela da área útil da parcela e a altura foi determinada medindo o comprimento, em metros, entre a superfície do solo e a extremidade da haste principal da planta.

Aos 120 dias após o plantio (estádio fenológico R8), foi realizada a colheita manual do experimento uma semana após as plantas apresentarem 95% das vagens maduras. A avaliação da produtividade média foi realizada por meio da pesagem dos grãos colhidos na área útil da parcela, sendo que os valores encontrados foram transformados para kg ha<sup>-1</sup>.

No momento da colheita também foram avaliados o número de vagens por planta (NVP), número de vagens com 3 grãos (NV3G), a massa de mil grãos (M1000G) e a produtividade da cultura da soja. Para a avaliação do NVP e NV3G, foram selecionadas 10 plantas aleatoriamente no momento da colheita e destas foram contadas a quantidade de vagens presentes em cada planta e a quantidade de vagens com três grãos, e a partir desses valores calcula-se a média para cada parcela.

A partir dos dados de produtividade determinou-se a eficiência agronômica (EA) proposta por Fageria (1998), que significa a produção econômica obtida (grãos, no caso de culturas anuais) por unidade de nutriente aplicado, neste caso o S, que pode ser calculada pela seguinte equação:

$$EA = \frac{(PGca - PGsa)}{(QNa)}$$

Em que: EA = eficiência agronômica(kg kg<sup>-1</sup>);PGca = produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) com adubação; PGsa = produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) sem adubação; QNa = quantidade do nutriente aplicado (kg ha<sup>-1</sup>).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando encontradas diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste F foi realizada a análise de regressão para doses de S e as fontes foram comparadas médias pelo teste de Skott-Knott ao nível de p<0,01 ou p<0,05 de probabilidade. Todas as operações estatísticas foram realizadas com auxílio dos programas Sisvar e do programa R (R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria, 2008).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variação (Tabela 1), para as características de Produtividade, APF, NVP, NV3G e M1000G, permitiu avaliar o efeito estatístico significativo ( $p \leq 0,01$ ), para Fontes, Doses, Fontes\*Doses, Adicional\*Fatorial em relação à produtividade, já a APF houve o mesmo efeito significativo nas variáveis da produtividade com exceção somente da interação Fontes\*Doses que não foi significativa. O P1000G revelou a significância ( $p \leq 0,01$ ) em relação às Fontes e as Doses e o NVP foi significativo ( $p \leq 0,05$ ) para a variável fonte, entretanto, o NV3G não se diferenciou estatisticamente.

A produtividade foi influenciada tanto pelas doses de S como pelas fontes utilizadas (Tabela 1). Trabalhos realizados em outras regiões do país também observam que a nutrição com S, proveniente de diferentes fontes e doses pode interferir na produtividade da cultura de soja (Broch et al., 2011;Pauletti et al., 2014).

As fontes diferenciariam estatisticamente, destacando o gesso e SFS com os maiores valores, seguido do S elementar e o controle com as menores medidas (Figura 2A). A resposta da APF utilizando as doses avaliadas foi representada pelo modelo linear, onde os valores de APF variaram de 0,60 a 0,72m (Figura 2B).Os valores das APF no S elementar em relação ao gesso e SFS foram menores, esse fato pode ter

ocorrido devido o S elementar presente neste adubo, precisa sofrer algumas reações de oxidação no solo para ficarem disponíveis, sendo transformados em  $SO^{2-}$ , dessa forma possuem liberação mais lenta no solo com relação ao gesso e SFS (Chien et al. 2011).

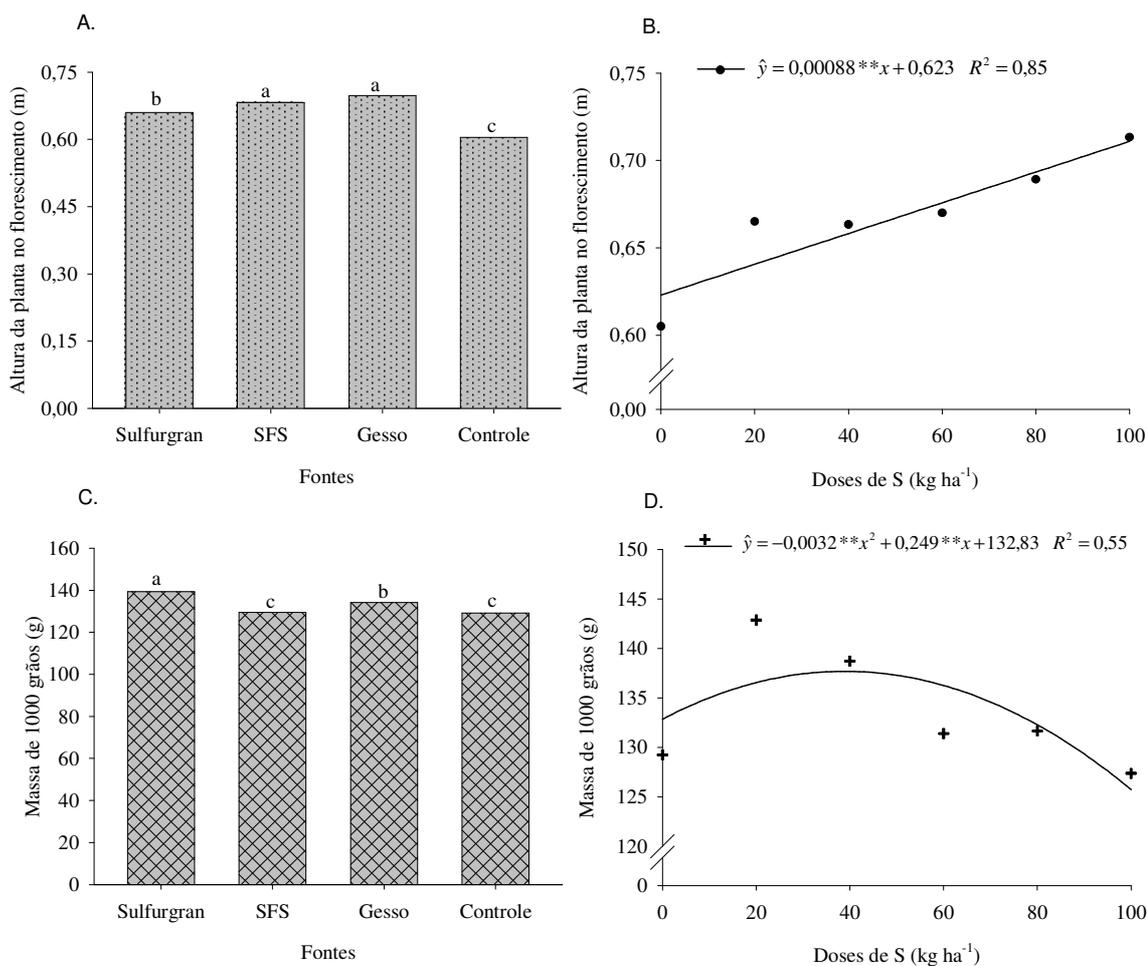
**Tabela 1.** Resumo das análises de variância para a produtividade ( $kg\ ha^{-1}$ ), altura da planta no florescimento (APF), número de vagem por planta (NVP), número de grãos por vargem de 3 grãos (NV3G) e massa de milgrãos(g) (M1000G) com relação aos tratamentos e suas interações.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio				
		Produtividade ( $kg\ ha^{-1}$ )	APF (m)	NVP (unidade)	NGV3G (unidade)	M1000G (g)
Bloco	3	3013,788 <sup>ns</sup>	0,00064 <sup>ns</sup>	47,990 <sup>ns</sup>	0,011 <sup>ns</sup>	34,547 <sup>ns</sup>
Fontes	2	222765,388**	0,00730**	90,738*	0,007 <sup>ns</sup>	497,759**
Doses	4	45192,335**	0,00539**	26,485 <sup>ns</sup>	0,039 <sup>ns</sup>	469,048**
Fontes*Doses	8	62312,766**	0,00069 <sup>ns</sup>	34,595 <sup>ns</sup>	0,009 <sup>ns</sup>	84,028 <sup>ns</sup>
Adicional*Fatorial	1	118477,263**	0,02119**	3,725 <sup>ns</sup>	0,091 <sup>ns</sup>	99,807 <sup>ns</sup>
Resíduo	45	2993,340	0,00089	19,328	0,021	52,585
Total	63	22016,209	0,00167	25,105	0,021	97,043
Média		1613,554	0,667	33,405	2,467	133,524
CV %		3,29	4,61	12,44	5,98	5,41

<sup>ns</sup>Não-significativo, \* e \*\* Significativo a  $p<0,05$  e  $p<0,01\%$  de probabilidade, respectivamente, pelo Skott-Knott.

Os valores da APF ficaram entre os encontrados por Bohn et al. (2016) em um trabalho realizado na mesma região que avaliou 15 variedades de soja no sudoeste do Piauí as alturas de plantas variaram entre 0,49 a 0,98 m. A altura de planta do presente trabalho também está entre os valores encontrados pelos autores Almeida et al. (2011), que consideram alturas entre 60 e 120 cm como adequadas para colheita mecanizada.

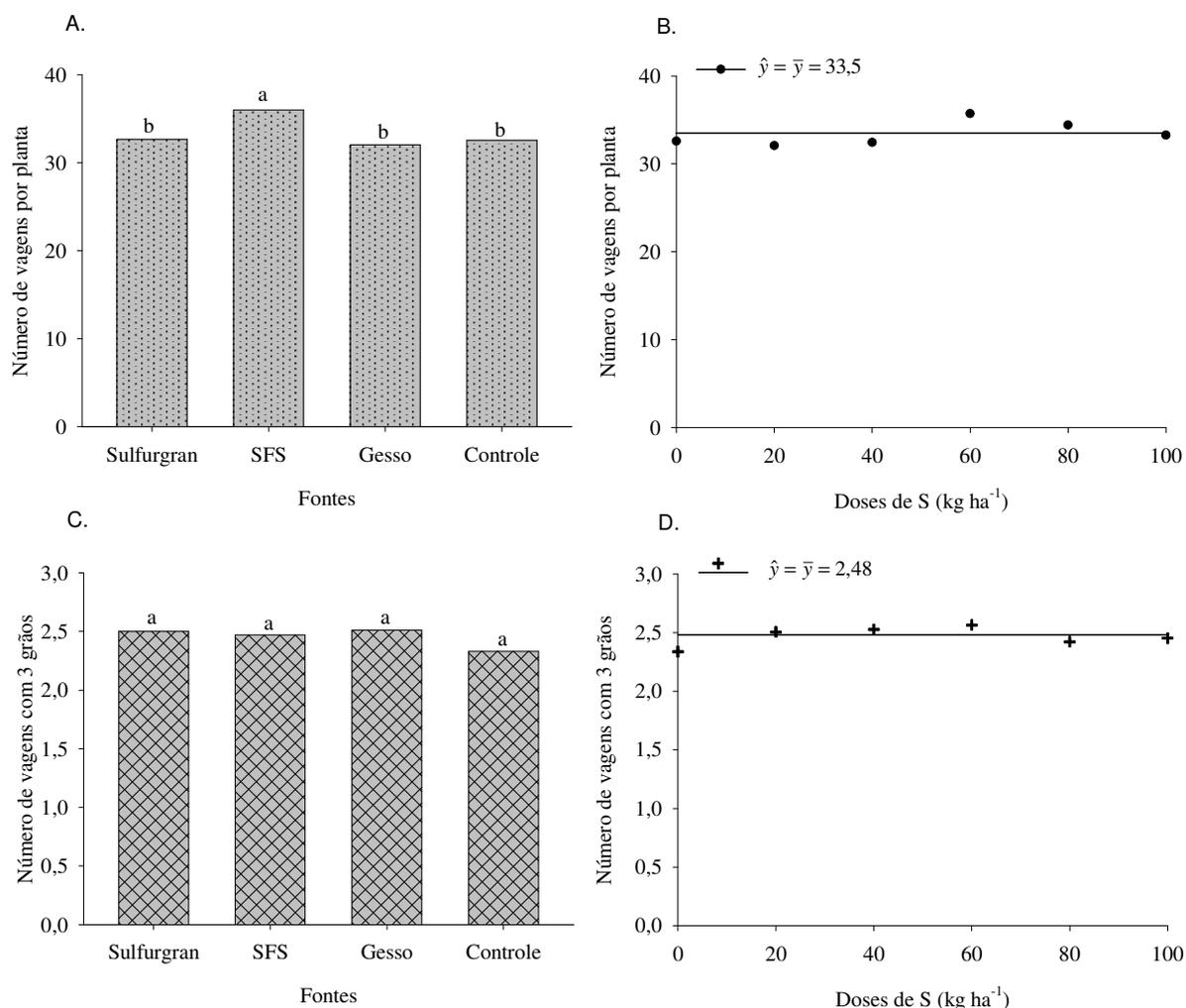
O M1000G com relação às fontes (Figura 2C) diferenciou estatisticamente destacando-se o S elementar com os maiores valores, que variaram entre 122,6 a 154,5 g. Esse resultado foi contrário aos encontrados pelos autores Guareschi et al. (2011) e Richart et al. (2006) que não encontraram diferença estatística entre essa variável na cultura da soja. Já as doses de S na M1000G (Figura 2D) revelaram efeito significativo ( $P<0,05$ ) entre os as fontes e as doses de enxofre e o modelo que se ajustou aos dados foi o quadrático para as doses de enxofre, sendo a dose máxima para a M1000G  $39\ kg\ ha^{-1}$  de S.



**Figura 2.** Altura da planta no florescimento (A. e B) e massa de milgrãos (C. e D). com relação às fontes e doses de S, respectivamente.

O NVP obteve diferença entre as fontes dos fertilizantes utilizadas, destacando-se o SFS com os maiores valores e não significativo para NV3G (Figura 3A e C), respectivamente. Os resultados de NVP e NV3G são contrário aos encontrados pelos autores Carvalho et al. (2011), Guareschi et al. (2008) e Richart et al. (2006) que não encontraram diferença desta variáveis na cultura da soja. O NVP e o NV3G não apresentaram diferença estatística entre doses de S, ocasionando gráficos com a média dos valores (Figura 3B e D). Esses resultados foram de acordo com os encontrados por Silva & Lazarini (2014) estudando doses e épocas de aplicação de potássio para a cultura da soja encontraram diferença estatística no NVP, mas já no NV3G não encontraram diferença entre os tratamentos. Já os autores Venturoso et al. (2009) constataram que a dose de 165 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O proporcionou aumento de 83 % no NVP, quando comparada ao tratamento controle, similar ao resultado encontrado neste trabalho com a

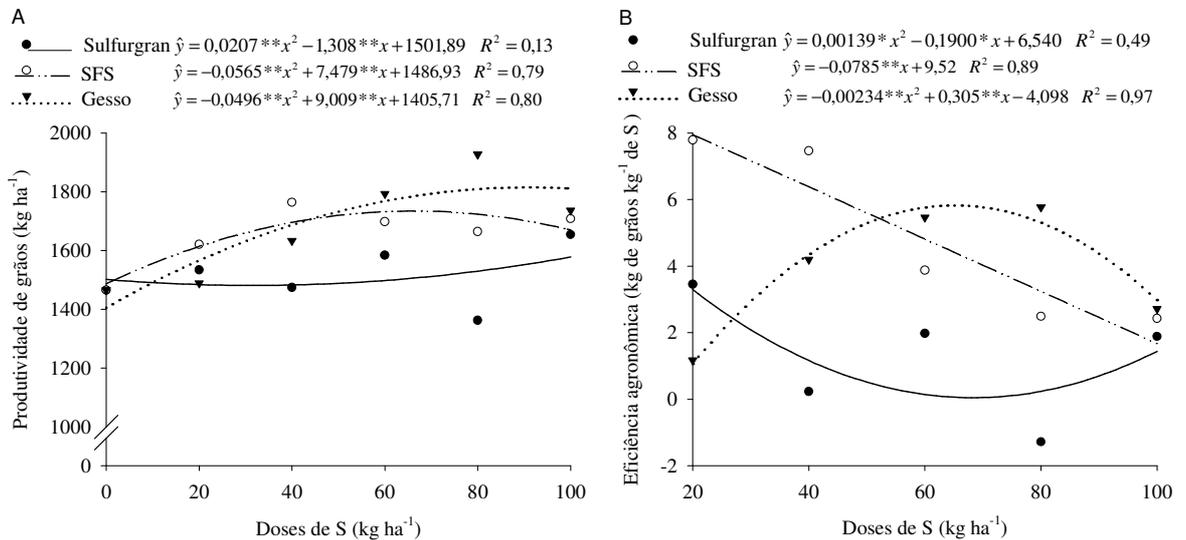
dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de S utilizando S elementar possibilitou um aumento de 89% no NVP com relação ao tratamento controle.



**Figura 3.** Número de vagens por planta (A e B) e vagens com 3 grãos, entre as doses e fontes de fertilizantes com enxofre.

Com base no resultado da produtividade podemos dizer que a cultura da soja responde à aplicação de fontes e doses de S (Figura 4A). As equações encontradas ajustaram-se de maneira quadrática nas três fontes utilizadas (SFS, gesso e S elementar), com ponto de máxima produtividade com 66,18; 91 e 31,6 kg ha<sup>-1</sup> de S, respectivamente. Os valores da produtividade variaram de 1362,95 a 1927,31 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de soja, com a dose 80 kg de S ha<sup>-1</sup> utilizando S elementar e gesso, respectivamente. Esses resultados são corroborados por Broch et al. (2011) que utilizou 40 kg de S ha<sup>-1</sup> com as fontes de S gesso, S elementar e SFS, encontrando resultados de produtividade da soja iguais estatisticamente, sendo que todos os tratamentos

apresentaram produtividade média superior a 3100 kg ha<sup>-1</sup>. Já os autores Rampim et al. (2013) que avaliaram o uso do gesso agrícola nos teores de fósforo e enxofre disponível no Estado do Paraná descreveram que a produtividade da soja não sofreu interferência significativa na adição de gesso agrícola.



**Figura 4.** Produtividade (A) e eficiência agrônômica (B) da soja entre as doses de S.

O resultado de produtividade (Figura 4A) foi diferente ao encontrado pelo autor Rheinheimer et al. (2005), evidenciaram que o uso de doses de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> de até 60 kg ha<sup>-1</sup>, via superfosfato simples, não afetam a produtividade das culturas. Já entre as doses 60 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de S o fertilizante que obteve o maior desempenho foi o gesso. Os resultados obtidos neste trabalho, estão de acordo com os de Caires et al. (2011); Rampim et al. (2011) e Pauletti et al. (2014), em relação a aplicação de gesso, beneficiando de forma positiva o desenvolvimento da soja.

Os valores de todos os tratamentos foram acima da média estipulada pela CONAB para a safra 2015/2016 (CONAB 2016) onde a produtividade média para a região do Piauí é de 1.143 kg ha<sup>-1</sup>, representando redução de 58% em relação à safra anterior, devido às adversidades climáticas ocorridas no Estado.

De modo geral, a média de produtividade no presente estudo foi abaixo da observada em outros trabalhos no Estado do Piauí. Neves et al. (2013) e Rocha et al. (2012), na região de Teresina-PI, observaram variação de 1.834 a 3.585 kg ha<sup>-1</sup> e 1.730 a 3840 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Bohn et al. (2016) na mesma região do experimento no

ano agrícola de 2010/2011 encontrou variação da produtividade de 2.938 a 4.712 kg ha<sup>-1</sup>.

A aplicação das doses utilizando o gesso proporcionou maior EA (Figura 4B), destacando-se a dose de 20 kg ha<sup>-1</sup> de S com um ganho de 7,8 kg de grãos de soja para cada quilo de S aplicado na área. Esse resultado pode ser explicado devido às fontes com S na forma de sulfato, como é o caso do gesso, são mais eficientes nos primeiros anos de cultivo, enquanto que as fontes com S elementar têm sua eficiência aumentada com o passar dos anos, conforme mencionado por Heydarnezhad et al. (2012) e Stamford et al. (2015).

#### 4. CONCLUSÃO

As variáveis APF, P1000G e produtividade foram influenciadas pelas doses e fonte de S dos fertilizantes utilizados, já o NVP e NGV3G não sofreram diferenças estatísticas.

A fonte de maior destaque foi o gesso com a dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de S onde obteve a maior produtividade.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R.D.; PELUZIO, J.M.; AFFERRI, F.S. Divergência genética entre cultivares de soja, sob condições de várzea irrigada, no Sul do Estado Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.1, p 108-115, 2011.

BANCO de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. Série histórica. Dados mensais. Bom Jesus (PI). (2016). Brasília: **Instituto Nacional de Meteorologia**, [2016]. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/gera\\_serie\\_txt\\_mensal.php?&mRelEstacao=82975&btnProcesso=serie&mRelDtInicio=31/10/1986&mRelDtFim=31/05/2016&mAtributos=,,,,,,,1,,,,,,](http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/gera_serie_txt_mensal.php?&mRelEstacao=82975&btnProcesso=serie&mRelDtInicio=31/10/1986&mRelDtFim=31/05/2016&mAtributos=,,,,,,,1,,,,,,)>. Acesso em 01 out. 2016.

BOHN, N.P.; LUSTOSA FILHO, J.F.; NÓBREGA, J.C.A.; CAMPOS, A.R.; NÓBREGA, R.S.A.; PACHECO, L.P. Identificação de cultivares de soja para a região sudoeste do Cerrado piauiense. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.10, n.1, p. 10–16, 2016.

BROCH, D.L.; PAVINATO, P.S.; POSSENTI, J.C.; MARTIN, T.N.; QUIQUI, E.M.D. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. **RevistaCiênciaAgronômica**, v.42, n.3, p. 791-796, 2011.

CAIRES, E.F.; MASCHIETTO, E.H.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S.; JORIS, H.A.W. Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. **ScientiaAgricola**, v. 68, n. 2, p. 209- 216, 2011.

CARVALHO, E.R.; REZENDE, P.M. de; ANDRADE, M.J.B. de; PASSOS, A.M.A. dos; OLIVEIRA, J.A. Fertilizante mineral e resíduo orgânico sobre características agronômicas da soja e nutrientes no solo. **RevistaCiênciaAgronômica**, v. 42, n.4, p. 930-939, 2011.

CHIEN, S.H.; GEARHART, M.M.; VILLAGARCÍA, S. Comparison of ammonium sulfate with other nitrogen and sulfur fertilizers in increasing crop production and minimizing environmental impact: a review. **Soil Science**, v. 176, n.7, p. 327-335, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2016/2017**. 2º levantamento. Brasília, DF: Conab, 2016.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.2, p.6-16, 1998.

GUARESCHI, R.F.; GAZOLLA, P.R.; PERIN, A.; SANTINI, J.M.K. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência Agrotecnologia**, v. 35, n. 4, p. 643-648, 2011.

GUARESCHI, R.F.; GAZOLLA, P.R.; SOUCHIE, E.L.; ROCHA, A.C. da R. Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado. **Semina: CiênciasAgrárias**, v. 29, n. 4, p. 769- 774, 2008.

HEYDARNEZHAD, F.; SHAHINROKHSAR, P.; VAHED, H.S.; BESHARATI, H. Influence of elemental sulfur and sulfur oxidizing bacteria on some nutrient deficiency in calcareous soils. **International Journal of Agriculture and Crop Science**, v. 12, n. 4, p. 735-739, 2012.

KARIMIZARCHI, M.; AMINUDDIN, H.; KHANIF, M.Y.; RADZIAH, O. Elemental sulphur application and sweet maize (*Zea mays* L.) response in a high pH soil of Malaysia. **Malaysian Journal of Soil Science**, v. 18, p. 75-86, 2014.

LOPES, A.A.; DAHER, E.; BASTOS, A.R.R.; GUILERME, L.R.G. Suprimento e extensão das reservas de nutrientes no Brasil. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: IPNI - Brasil, 2010. v. 2, cap. 5, p. 283-305.

NEVES, J.A.; SILVA, J.A.L. da; BARBOSA, D.R.S.; SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. de C.; ROCHA, R.S. Agronomic Performance of Soybean Genotypes in Low Latitude in Teresina-PI, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, n.3, p. 243-253, 2013.

PAULETTI, V.; PIERRI, L. de; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A.C.V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 495-505, 2014.

R Development Core Team. 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

RAMPIM L.; LANA M. do C.; FRANDOLOSO J.F. Fósforo e enxofre disponível, alumínio trocável e fósforo remanescente em latossolo vermelho submetido ao gesso cultivado com trigo e soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1623-1638, 2013.

RAMPIM, L.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1687-1698, 2011.

RHEINHEIMER, D.S.; ALVAREZ, J.W.R.; OSORIO FILHO, B.D.; SILVA, L.S. da, 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.3, p. 562-569, 2005.

RICHART, A.; LANA, M. do C.; SCHULZ, L.R.; BERTONI, J.C.; BRACCINI, A. de L. Disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato

natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 695-705, 2006.

ROCHA, R.S.; SILVA, J.A.L. da; NEVES, J.A.; SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R de C. Desempenho agrônomo de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude em Teresina-PI. **Revista CienciaAgronomica**, v. 43, n. 1, p. 154-162, 2012.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SILVA, A.F. DA; LAZARINI, E. Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Semina: CiênciasAgrárias**, v. 35, n. 1, p. 179-192, 2014.

STAMFORD, N.P.; FIGUEIREDO, M.V.B.; SILVA JUNIOR, S. DA; FREITAS, A.D.S.; SANTOS, C.E.R.S.; LIRA JÚNIOR, M.A. Effect of gypsum and sulfur with *Acidithiobacillus* on soil salinity alleviation and on cowpea biomass and nutrient status as affected by PK rock biofertilizer. **ScientiaHorticulturae**, v. 192, n. 1, p. 287-292, 2015.

TIECHER, T.; SANTOS, D.R. dos; RASCHE, J.W.A.; BRUNETTO, G.; MALLMANN, F.J.K.; PICCIN, R. Resposta de culturas e disponibilidade de enxofre em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica submetidos à adubação sulfatada. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 518-527, 2013.

VENTUROSO, L.R.; BERGAMIM, A.C.; VALADÃO JÚNIOR, D.D.; LIMA, W.A.; OLIVEIRA, W.B.; SCHLINDWEIN, J.A.; CARON, B.O.; SCHIMIDT, D. Avaliação de duas cultivares de soja sob diferentes doses de potássio, no município de Rolim de Moura, RO. **Agrarian**, v. 2, n. 4, p. 17-29, 2009.

## ANEXOS

### Resumo das Análises de Variância dos capítulos:

#### CAPÍTULO 2:

**Tabela 1:** Resumo das análises de variância para análise solo 0-20 cm.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio						
		pH H <sub>2</sub> O	P	K	S	Ca	M.O	P rem.
			mg dm <sup>-3</sup>			cmol dm <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
Bloco	3	0,109 <sup>ns</sup>	0,889 <sup>ns</sup>	29,67**	0,18 <sup>ns</sup>	0,202**	0,267 <sup>ns</sup>	3,787 <sup>ns</sup>
Fontes	2	4,804**	81,88**	553,8**	1,959**	0,887**	9,596**	69,32**
Doses	4	0,38**	16,82**	333,3**	1,709**	0,579**	24,156**	17,89**
Fontes*Doses	8	0,206*	45,57**	994,7**	1,133**	0,636**	8,234**	29,36**
Adicional*Fatorial	1	0,674**	11,7**	186,4**	0,443**	0,316**	27,914**	40,76**
Resíduo	45	0,092	2,33	4,29	0,018	0,041	0,391	2,621
Total	63	0,285	11,34	172,49	0,336	0,19	3,619	9,764
CV %		5,67	4,8	4,6	8,32	11,97	3,83	3,58
Média		5,377	31,76	45,12	1,645	1,705	16,34	45,28

<sup>ns</sup>Não-significativo, \* e \*\* Significativo a p<0,05 e p<0,01% de probabilidade, respectivamente, pelo Skott-Knott.

**Tabela 2:** Resumo das análises de variância para análise solo 20-40 cm.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio						
		pH H <sub>2</sub> O	P	K	S	Ca	M.O	P rem.
			mg dm <sup>-3</sup>			cmol dm <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
Bloco	3	0,031 <sup>ns</sup>	0,537 <sup>ns</sup>	1,654 <sup>ns</sup>	0,031 <sup>ns</sup>	0,008 <sup>ns</sup>	0,131 <sup>ns</sup>	2,601 <sup>ns</sup>
Fontes	2	1,532**	22,37**	151,2**	13,041**	0,564**	8,550**	59,276**
Doses	4	0,129 <sup>ns</sup>	9,36**	5,514**	4,391**	0,127**	6,506**	24,4**
Fontes*Doses	8	0,091 <sup>ns</sup>	15,36**	24,87**	1,492**	0,188**	6,86**	9,191**
Adicional*Fatorial	1	0,221 <sup>ns</sup>	3,09 <sup>ns</sup>	206,1**	0,167 <sup>ns</sup>	0,089**	5,618**	11,16*
Resíduo	45	0,061	0,914	1,229	0,084	0,01	0,367	1,932
Total	63	0,117	3,984	12,537	0,946	0,059	1,913	6,279
CV %		5,7	3,48	8,84	4,75	32,74	6,96	3,12
Média		4,34	27,5	12,54	6,11	0,31	8,71	44,51

<sup>ns</sup>Não-significativo, \* e \*\* Significativo a p<0,05 e p<0,01% de probabilidade, respectivamente, pelo Skott-Knott.

**Tabela 3:** Resumo das análises de variância para análise foliar da soja.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg <sup>-1</sup>					
Bloco	3	4,12 <sup>ns</sup>	0,033 <sup>ns</sup>	1,334**	1,253 <sup>ns</sup>	0,463 <sup>ns</sup>	0,031 <sup>ns</sup>
Fontes	2	39,64**	1,521**	66,734**	586,16**	31,558**	0,229**
Doses	4	10,69**	0,639**	20,786**	514,14**	28,549**	0,953**
Fontes*Doses	8	9,61**	0,301**	10,089**	176,11**	50,034**	0,147**
Adicional*Fatorial	1	7,27*	0,00001 <sup>ns</sup>	40,771**	223,23**	8,669**	0,344**

Resíduo	45	1,78	0,051	0,248	2,91	0,284	0,042
Total	63	4,74	0,164	5,607	79,29	9,531	0,123
CV %		3,46	9,5	2,71	8,22	6,89	10,6
Média		38,51	2,345	18,416	20,75	7,752	1,946

<sup>ns</sup>Não-significativo, \* e \*\* Significativo a  $p < 0,05$  e  $p < 0,01\%$  de probabilidade, respectivamente, pelo Skott-Knott.

**Tabela 4:** Resumo das análises de variância para análise grãos da soja.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
		$g\ kg^{-1}$					
Bloco	3	5,358 <sup>ns</sup>	0,085 <sup>ns</sup>	0,217 <sup>ns</sup>	0,343*	0,07 <sup>ns</sup>	0,146 <sup>ns</sup>
Fontes	2	111,73**	7,144**	13,798**	6,468**	0,681**	1,078**
Doses	4	643,48**	0,597**	3,643**	3,007**	4,817**	0,206 <sup>ns</sup>
Fontes*Doses	8	177,96**	1,048**	2,126**	0,693**	3,096**	0,188 <sup>ns</sup>
Adicional*Fatorial	1	95,17**	0,753**	6,043**	3,035**	1,929**	0,56*
Resíduo	45	6,17	0,095	0,297	0,11	0,071	0,109
Total	63	73,18	0,485	1,258	0,628	0,805	0,165
CV %		3,4	5,67	3,88	10,36	8,21	10,34
Média		73,09	5,447	14,07	3,213	3,265	3,197

<sup>ns</sup>Não-significativo, \* e \*\* Significativo a  $p < 0,05$  e  $p < 0,01\%$  de probabilidade, respectivamente, pelo Skott-Knott.

## CAPÍTULO 1:

**Tabela 1.** Resumo das análises de variância para a produtividade ( $kg\ ha^{-1}$ ), altura da planta no florescimento (APF), número de vagem por planta (NVP), número de grãos por vagem de 3 grãos (NV3G) e massa de mil grãos(g) (P1000G) com relação aos tratamentos e suas interações.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio				
		Produtividade ( $kg\ ha^{-1}$ )	APF (m)	NVP (unidade)	NGV3G (unidade)	P1000G (g)
Bloco	3	3013,788 <sup>ns</sup>	0,00064 <sup>ns</sup>	47,990 <sup>ns</sup>	0,011 <sup>ns</sup>	34,547 <sup>ns</sup>
Fontes	2	222765,388**	0,00730**	90,738*	0,007 <sup>ns</sup>	497,759**
Doses	4	45192,335**	0,00539**	26,485 <sup>ns</sup>	0,039 <sup>ns</sup>	469,048**
Fontes*Doses	8	62312,766**	0,00069 <sup>ns</sup>	34,595 <sup>ns</sup>	0,009 <sup>ns</sup>	84,028 <sup>ns</sup>
Adicional*Fatorial	1	118477,263**	0,02119**	3,725 <sup>ns</sup>	0,091 <sup>ns</sup>	99,807 <sup>ns</sup>
Resíduo	45	2993,340	0,00089	19,328	0,021	52,585
Total	63	22016,209	0,00167	25,105	0,021	97,043
Média		1613,554	0,667	33,405	2,467	133,524
CV %		3,29	4,61	12,44	5,98	5,41

<sup>ns</sup>Não-significativo, \* e \*\* Significativo a  $p < 0,05$  e  $p < 0,01\%$  de probabilidade, respectivamente, pelo Skott-Knott.