



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

RAFAEL PETINELI

**EFEITO DE FONTES E DOSES DE ENXOFRE NA SOJA  
CULTIVADA EM TRÊS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS  
DO ESTADO DO PARANÁ**

---

Londrina  
2021

RAFAEL PETINELI

**EFEITO DE FONTES E DOSES DE ENXOFRE NA SOJA  
CULTIVADA EM TRÊS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS  
DO ESTADO DO PARANÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Adônis Moreira.

Londrina  
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

PETINELI, RAFAEL.

Efeito de fontes e doses de enxofre na soja cultivada em três condições edafoclimáticas do Estado do Paraná / RAFAEL PETINELI. - Londrina, 2021. 71 f. : il.

Orientador: ADÔNIS MOREIRA.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2021. Inclui bibliografia.

1. GESSO AGRÍCOLA - Tese. 2. ENXOFRE ELEMENTAR - Tese. 3. NUTRIÇÃO MINERAL - Tese. 4. SOJA - Tese. I. MOREIRA, ADÔNIS . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

RAFAEL PETINELI

**EFEITO DE FONTES E DOSES DE ENXOFRE NA SOJA  
CULTIVADA EM TRÊS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS  
DO ESTADO DO PARANÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Adônis Moreira  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Cecilio Viegas Soares Filho  
Universidade Estadual Paulista - UNESP

---

Prof. Dr. Luiz Gustavo Moretti  
Universidade Estadual Paulista - UNESP

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Juliana Aparecida de Souza  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Alberto Ramos Luz  
Universidade do Estado de Santa Catarina -  
UDESC

Londrina, 19 de março de 2021.

# Agradecimentos

À DEUS Onipresente, Onisciente e Onipotente;

À Universidade Estadual de Londrina (UEL) pela oportunidade oferecida;

À CAPES pela bolsa de doutorado concedida;

À Embrapa Soja pelo apoio logístico e infraestrutura para realização dos experimentos;

Ao meu orientador, Dr. Adônis Moreira não só pela constante orientação neste trabalho, mas sobretudo pela paciência;

À Pesquisadora, Dra Larissa A. C. Moraes, pelo apoio nas análises e ensinamento;

À minha esposa Andressa e minha filha Letícia por sempre acreditarem no meu trabalho e ser meu alicerce;

À todos meus familiares pelo apoio;

Aos professores da UEL pelos conhecimentos passados e aprendidos;

À Banca examinadora (Dr. Cecilio Viega Soares Filho, Dra. Juliana Aparecida de Souza, Dr. Luiz Gustavo Moretti e Dr. Alberto Ramos Luz) pelas sugestões no trabalho;

Ao Laboratório Santa Rita, em especial ao Edelfonso, Jussara e Fernando pelo apoio nas análises;

Aos Técnicos do Laboratório de Solos da UEL;

A Equipe de Fertilidade e Microbiologia da Embrapa Soja (Edilson, Fábio, Fernandes, Junior, Mauro, Sérgio e Zucca) pelo apoio na realização dos experimentos de campo;

Aos amigos da pesquisa em fertilidade do solo (Lucas, Dionísio, Edimara e Marcelo), pelas inúmeras horas de análises de campo e laboratório;

Aos meus amigos (Lucas Borges, Odair Machado e Thiago Marzarotto), pela paciência e cooperação.

A todos colegas da Pos-Graduação que de forma direta ou indireta contribuíram para realização deste trabalho.

PETINELI, Rafael. **Efeito de fontes e doses de enxofre na soja cultivada em três condições edafoclimáticas do Estado do Paraná**. 2021. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2021.

## RESUMO

Com o aumento na produção de soja e conseqüente aumento no custo de produção, busca-se o uso racional dos insumos, principalmente dos fertilizantes. Dentre esses, o enxofre (S) tem sido deixado de lado, pela constante utilização de adubos concentrados. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação no solo de diferentes fontes e doses de S no desenvolvimento e produção da soja em diferentes regiões edafoclimáticas. Os experimentos foram conduzidos nos municípios de Londrina, Luiziana e Ponta Grossa, no Estado do Paraná em áreas de Latossolos com textura argilosa. As áreas experimentais foram conduzidas nas safras 2018/2019 e 2019/2020, no qual o delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial. Os tratamentos consistiram em uma testemunha absoluta (dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de SO<sub>4</sub><sup>-</sup>), três fontes de S: gesso agrícola, enxofre elementar e gesso de gipsita; e três doses ajustadas com quatro repetições, totalizando 40 parcelas. Os dados foram submetidos a análise de variância, teste F e de regressão linear a 5% de significância. Nas comparações entre as cultivares foi utilizado o teste de Tukey também a 5% de probabilidade de erro. Os resultados apontaram para influência positiva do manejo da adubação sulfatada, com destaque para os níveis de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> no solo e foliar, altura de plantas, número de grãos por planta, produção e rentabilidade. No entanto, os teores de óleo e proteína dos grãos, níveis de micronutrientes foliar e no solo, bem como tamanho de grãos e números de grãos por vagem, não apresentaram influência significativa. Dessa forma, pode-se concluir que nas condições edafoclimáticas estudadas a utilização de fontes como S-elementar é uma alternativa as tradicionais fontes de S como gesso e gipsita, não ocasionando prejuízos no sistema e com retorno financeiro satisfatório. Mesmo, nesses locais com níveis mesmo que considerados altos, a cultura da soja é responsiva à fertilização com S.

**Palavras-chave:** *Glycine max* L.; gesso agrícola; enxofre elementar; proteína. componentes de produção.

PETINELI, Rafael. **Effect of sulfur sources and rates in soybean grown under three edaphoclimatic conditions in the State of Paraná**. 2021. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2021.

### ABSTRACT

With the increase in soybean production and the consequent increase in production costs, the rational use of inputs, mainly fertilizers, is sought. Among these, sulfur (S) has been neglected, due to the constant use of concentrated fertilizers. In this context, this work aimed to evaluate the effect of applying different sources and doses of S to the soil on soybean development and production in different edaphoclimatic regions. The experiments were carried out in the municipalities of Londrina, Luiziana and Ponta Grossa, in the State of Paraná in areas of Oxisols with clayey texture. The experimental areas were conducted in the 2018/2019 and 2019/2020 seasons, in which the experimental design was in randomized blocks in a factorial scheme. The treatments consisted of an absolute control (dose 0 kg ha<sup>-1</sup> of SO<sub>4</sub>), three sources of S: agricultural plaster, elemental sulfur and gypsum plaster; and three doses adjusted with four repetitions, totaling 40 plots. The data were submitted to analysis of variance, F test and linear regression at 5% significance. In comparisons between cultivars, the Tukey test was also used at 5% probability of error. The results pointed to a positive influence of the management of sulfated fertilization, with emphasis on the levels of S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> in the soil and leaf, plant height, number of grains per plant, production and profitability. However, the oil and protein content of grains, levels of leaf and soil micronutrients, as well as grain size and number of grains per pod, did not show any significant influence. Thus, it can be concluded that in the studied edaphoclimatic conditions the use of sources such as S-elementary is an alternative to the traditional sources of S such as plaster and gypsum, causing no damage to the system and with satisfactory financial return. Even, in these places with levels even if considered high, the soybean culture is responsive to fertilization with S..

**Key words:** *Glycine max* L.; agricultural plaster; elementary sulfur; protein. production components.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> –	Relação entre o pH e a disponibilidade dos elementos no solo .....	22
<b>Figura 2</b> –	“Lei do Mínimo” de Liebig.....	24
<b>Figura 3</b> –	Esquema da distribuição relativa de raízes da soja no perfil do solo com e sem aplicação de fosfogesso.....	27
<b>Figura 4</b> –	Sintomas característicos da deficiência de enxofre em soja .....	28
<b>Figura 5</b> –	Municípios de realização dos campos experimentais .....	31
<b>Figura 6</b> –	Produtividade média de grãos de soja nos dois anos de cultivo em três condições edafoclimáticas em repostas as doses de Fosfogesso.....	58
<b>Figura 7</b> –	Produtividade média de grãos de soja nos dois anos de cultivo em três condições edafoclimáticas em repostas as doses de gesso de rocha (Gipsita) .....	59
<b>Figura 8</b> –	Produtividade média de grãos de soja nos dois anos de cultivo em três condições edafoclimáticas em repostas as doses de S-elementar (90% de S) .....	60

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	– Interpretação dos teores de enxofre (S) no solo conforme as faixas de interpretação nas duas profundidades no perfil do solo (0-20 e 20-40 cm), para a cultura da soja.....	19
<b>Tabela 2</b>	– Quantidade absorvida e exportada de nutrientes pela cultura da soja.....	23
<b>Tabela 3</b>	– Quantidade extraída e exportada de nutrientes pela cultura do trigo .....	23
<b>Tabela 4</b>	– Atributos químicos do solo coletado na camada de 0-10 cm antes da instalação do experimento em Luiziana, Paraná .....	33
<b>Tabela 5</b>	– Atributos químicos do solo coletado na camada de 10-20 cm antes da instalação do experimento em Luiziana, Paraná .....	33
<b>Tabela 6</b>	– Atributos químicos do solo coletado na camada de 0-10 cm antes da instalação do experimento em Ponta Grossa, Paraná .....	34
<b>Tabela 7</b>	– Atributos químicos do solo coletado na camada de 10-20 cm antes da instalação do experimento em Ponta Grossa, Paraná .....	34
<b>Tabela 8</b>	– Atributos químicos do solo coletado na camada de 0-10 cm antes da instalação do experimento em Londrina, Paraná .....	34
<b>Tabela 9</b>	– Atributos químicos do solo coletado na camada de 10-20 cm antes da instalação do experimento em Londrina, Paraná .....	35
<b>Tabela 10</b>	– Médias dos componentes de produção, teor de clorofila, teor de óleo e proteína e tamanho de grãos nos ciclos de cultivo de soja 2018-2019 e 2019-2020, em função de fontes e doses de enxofre cultivada em Ponta Grossa/PR .....	40
<b>Tabela 11</b>	– Médias dos Componentes de Produção, Teor de Clorofila, Teor de Óleo e Proteína e Tamanho de Grãos nos ciclos de cultivo de soja 2018/2019 e 2019/2020, em função de fontes e doses de enxofre cultivada em Londrina/PR .....	41
<b>Tabela 12</b>	– Médias dos Componentes de Produção, Teor de Clorofila, Teor de Óleo e Proteína e Tamanho de Grãos nos ciclos de cultivo de soja 2018/2019 e 2019/2020, em função de fontes e doses de enxofre cultivada em Luiziana/PR.....	42

<b>Tabela 13</b> – Média dos teores de nutrientes nas folhas nos ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020, em função de fontes e doses de enxofre cultivada em Ponta Grossa/PR .....	44
<b>Tabela 14</b> – Média dos teores de nutrientes nas folhas nos ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020, em função de fontes e doses de enxofre cultivada em Londrina/PR .....	45
<b>Tabela 15</b> – Média dos teores de nutrientes nas folhas nos ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020, em função de fontes e doses de enxofre cultivada em Luiziana/PR .....	46
<b>Tabela 16</b> – Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm após dois ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Ponta Grossa/PR .....	48
<b>Tabela 17</b> – Atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm após dois ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Ponta Grossa/PR .....	49
<b>Tabela 18</b> – Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm após dois ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Londrina/PR .....	50
<b>Tabela 19</b> – Atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm após dois ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Londrina/PR .....	51
<b>Tabela 20</b> – Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm após dois ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Luiziana/PR.....	52
<b>Tabela 21</b> – Atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm após dois ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Luiziana/PR.....	53
<b>Tabela 22</b> – Teores dos micronutrientes no solo na camada de 0-10 cm após dois ciclos de cultivo da soja em função de fontes e doses de enxofre em Londrina, Estado do Paraná.....	54
<b>Tabela 23</b> – Teores dos micronutrientes no solo na camada de 10-20 cm após dois ciclos de cultivo da soja em função de fontes e doses de enxofre em Londrina, Estado do Paraná.....	55

<b>Tabela 24</b> – Teores dos micronutrientes no solo na camada de 0-10 cm após dois ciclos de cultivo da soja em função de fontes e doses de enxofre em Ponta Grossa, Estado do Paraná.....	55
<b>Tabela 25</b> – Teores dos micronutrientes no solo na camada de 10-20 cm após dois ciclos de cultivo da soja em função de fontes e doses de enxofre em Ponta Grossa, Estado do Paraná.....	56
<b>Tabela 26</b> – Teores dos micronutrientes no solo na camada de 0-10 cm após dois ciclos de cultivo da soja em função de fontes e doses de enxofre em Luziânia, Estado do Paraná .....	56
<b>Tabela 27</b> – Teores dos micronutrientes no solo na camada de 10-20 cm após dois ciclos de cultivo da soja em função de fontes e doses de enxofre em Luziânia, Estado do Paraná .....	57
<b>Tabela 28</b> – Cotação em dólar das fontes utilizadas para o estado do Paraná em janeiro 2021 .....	61
<b>Tabela 29</b> – Produtividade média e rentabilidade na cultura da soja após dois ciclos de cultivo 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Londrina/PR .....	62
<b>Tabela 30</b> – Produtividade média e rentabilidade na cultura da soja após dois ciclos de cultivo 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Ponta Grossa/PR .....	63
<b>Tabela 31</b> – Produtividade média e rentabilidade na cultura da soja após dois ciclos de cultivo 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Luiziana/PR.....	64

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APROBIO	Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil
Al	Alumínio
ANOVA	Análise de Variância
AP	Altura de Planta
B	Boro
C	Carbono
Ca	Cálcio
CaSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	Fosfogesso Agrícola
Cfa	Clima Subtropical Úmido
Cfb	Clima Subtropical Úmido Mesotérmico
C/N	Carbono/Nitrogênio
Cl	Cloro
cm	Centímetro
Cmol <sub>c</sub>	Centimol de carga
Co	Cobalto
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
Cu	Cobre
DERAL	Departamento de Economia Rural
dm <sup>-3</sup>	Decímetro cúbico
DR	Doutor
DRA	Doutora
EMBRAP	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
f	Fator de Correção do PRNT do calcário
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura
Fe	Ferro
g	Grama
H	Hidrogênio
H <sub>2</sub> O	Água
H <sub>2</sub> S	Gás Sulfrídrico

H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Ácido Fosfórico
ha	Hectares
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
K	Potássio
kg	Quilograma
L	Litro
m	Metros
mg	Miligrama
Mg	Magnésio
mL	Mililitro
mm	Milimetro
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
MOS	Matéria Orgânica do Solo
N	Nitrogênio
NH <sub>3</sub>	Amônia
NIR	Espectrômetro de Infravermelho Próximo
NC	Necessidade de Calagem
ns	Não Significativo
O <sub>2</sub>	Oxigênio
P	Fósforo
P-rem	Fósforo Remanescente
PR	Paraná
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
pH	Potencial Hidrogeniônico
R\$	Real
S	Enxofre
S <sup>0</sup>	Enxofre elementar
S <sup>2-</sup>	Sulfeto
sc	Sacas
SEAB	Secretaria do Estado e do Abastecimento do Paraná
SIACESP	Sindicato da Indústria de Adubos e Corretivos Agrícolas do Estado de São Paulo

$S_2O_3^{2-}$	Tiosulfato
$SO_4^{2-}$	Sulfato
$SO_2$	Dióxido de Enxofre
$SO_3^{2-}$	Sulfito
SPD	Sistema Plantio Direto
SS	Superfostato Simples
t	Toneladas
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UNESP	Universidade Estadual Paulista
US\$	Dólar
V%	Saturação por Bases
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
2.1	A CULTURA DA SOJA.....	17
2.2	ROTAÇÃO DE CULTURAS .....	20
2.3	FERTILIDADE DO SOLO .....	21
2.4	ENXOFRE .....	24
2.4.1	Importância do Enxofre na Agricultura .....	24
2.4.2	Enxofre no Solo.....	25
2.4.3	Enxofre na Planta.....	26
2.4.4	Fontes de Enxofre .....	29
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	31
3.1	LOCAIS, CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E TIPO DE SOLOS .....	31
3.2	CULTIVARES E TRATAMENTO DE SEMENTES.....	32
3.3	ANÁLISE DE FERTILIDADE DO SOLO .....	32
3.4	DOSES E FONTES DE ENXOFRE.....	35
3.5	AVALIAÇÕES DO EXPERIMENTO.....	36
3.6	DELINEAMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	36
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	38
4.1	COMPONENTES DE PRODUÇÃO .....	38
4.2	TEOR FOLIAR (MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES) .....	43
4.3	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO – MACRONUTRIENTES.....	47
4.4	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO – MICRONUTRIENTES .....	54
4.5	PRODUÇÃO DE GRÃOS.....	57
4.6	ANÁLISE ECONÔMICA.....	61
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	65
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	66

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura vem atravessando constantes evoluções tecnológicas nas duas últimas décadas. Fato esse, principalmente relacionado aos avanços ocorridos nos tratamentos culturais das principais espécies de interesse econômico.

Essas evoluções devem-se à inúmeros fatores, como o avanço do melhoramento genético com desenvolvimento de materiais de alto potencial produtivo e adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas, maior sanidade das plantas e maior eficiência de uso de nutrientes. Além disso, os maquinários utilizados estão cada vez mais eficientes, acarretando semeaduras mais homogêneas, aplicações mais eficazes no controle de pragas e doenças e aplicação de fertilizantes e corretivos em taxa variável acarretando maior rendimento no momento da colheita.

Com toda essa evolução, alguns fatores que têm impactado no manejo das culturas, principalmente no cultivo da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no processo de consolidação do Sistema Plantio Direto (SPD), e dentro desse, a rotação/sucessão de culturas. Com a evolução da agricultura, o SPD trouxe benefícios significativos ao sistema antes não considerados, como o aumento da quantidade de matéria orgânica do solo (MOS) proveniente, principalmente, dos incrementos dos restos culturais do cultivo anterior, com consequente aumento da microbiota do solo, menor compactação e temperatura no perfil do solo e consequente diminuição das erosões.

No entanto, mesmo com esses avanços, algumas modificações no manejo das culturas estão diretamente relacionadas à correção da acidez do solo e nos modos e/ou fontes de adubação (nutrição mineral), visto que a utilização inadequada desses insumos tem ocasionado efeitos indesejados ou que precisam ser alteradas e complementadas para que o sistema de manejo seja efetivo ao longo do tempo.

Nesse contexto, é possível observar uma tendência na diminuição das operações agrícolas no manejo da adubação com o uso cada vez mais intenso de fertilizantes concentrados, visando apenas a lucratividade da safra explorada sem levar em consideração o balanço de nutrientes. Tais procedimentos tem acarretado sub ou super aplicação de fertilizantes, fazendo com que alguns nutrientes fiquem em segundo plano, dos quais pode-se destacar o enxofre (S), que mesmo sendo um macronutriente essencial, cuja função está diretamente relacionada com a síntese de

proteínas e requerido pelas plantas em níveis semelhantes ao fósforo (P) de acordo com a espécie e produtividade esperada tem sido negligenciado.

Em locais onde há aplicação de fontes contendo S, a cultura da soja tem apresentado boa resposta na absorção e uso do nutriente, porém, em muitas condições, a reposição do S no solo tem sido de forma secundária via formulação de adubos, principalmente na forma de fertilizantes sulfatados como superfosfatos simples (12% de S) ou na composição de formulados (N-P-K+S). Com isso, os níveis de S disponível no solo podem estar abaixo do adequado e não estar suprindo adequadamente as plantas, limitando o seu potencial produtivo.

Além das fontes citadas, como alternativa, pode-se suprir esta necessidade com uso de S elementar (S<sup>0</sup>) ou pela adição de fosfogesso agrícola (CaSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O), produto resultante do processo de fabricação do ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). No entanto, devido os problemas de logística, o uso de rochas contendo S (gipsita) pode ser mais uma alternativa para minimizar a carência do nutriente nos solos em locais onde o uso do S elementar e fosfogesso torna-se proibitiva.

Independentemente das fontes de S utilizadas, deve-se levar em consideração que a eficiência e quantidade da aplicação resultará na combinação de diversas práticas como a dose adequada a ser colocada ao solo, época de aplicação, espécies cultivadas e condições edafoclimáticas adequadas.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação no solo de diferentes fontes e doses de S no desenvolvimento, produção, fertilidade do solo e estado nutricional da soja cultivada em três condições edafoclimáticas distintas do Estado do Paraná.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A CULTURA DA SOJA

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma planta oleaginosa originária da China e do Japão, pertencente à família das Fabaceas. No Brasil, é um dos principais produtos de exportação e uma das principais *commodities* do mundo.

Sua utilização como fonte de proteína é variada, sendo muito utilizada na alimentação animal, seu óleo na alimentação humana e como fonte energética, confirmando a versatilidade do produto. Em 2015, a Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil (APROBIO) demonstrou que a soja é a principal matéria-prima do biodiesel produzido no País (APROBIO, 2015).

Dada a crescente importância da produção da soja, nota-se que até o momento há grande busca de ingresso em um mercado cada vez mais disputado. Para tanto, crescem as estratégias competitivas em busca de reduções de custos das 'Comodities' para obter níveis elevados de eficiência produtiva, tanto em qualidade quanto em quantidade, atendendo adequadamente às necessidades do mercado interno e obtendo resultados positivos no mercado externo (VALARINI, 2010).

Segundo a FAO (2020a), a área colhida no Mundo na safra 2017-2018 foi de aproximadamente 124,9 milhões de hectares e uma produção de 348,7 milhões de toneladas do grão. No período de 2006 a 2018 do total estimado da produção em 3,6 bilhões de toneladas, destacam-se os continentes americano com área colhida de 1,1 bilhão de hectares e produção de 3,1 bilhões de toneladas (86,9% do total), seguido pelo continente asiático, com área colhida de 260,2 milhões de hectares e produção de 360,2 milhões de toneladas (10,0% do total) e o continente europeu com área colhida de 46,5 milhões de hectares e produção de 85,6 milhões de toneladas (2,4% do total) (FAO, 2020a).

Dentre os países produtores, na safra 2018, os Estados Unidos, Brasil e Argentina representaram 69,4% da produção mundial da oleaginosa, sendo os Estados Unidos o maior produtor com 123,6 milhões de toneladas, seguido pelo Brasil com 117,8 milhões de toneladas e Argentina com 37,7 milhões de toneladas (FAO, 2020a).

Ainda, segundo a FAO (2020b) o mercado externo tem sido disputado principalmente pelo Brasil e Estados Unidos. Na safra 2018 o Brasil exportou pouco

mais de 83,6 milhões e os Estados Unidos exportou 46,4 milhões de toneladas do grão, com destaque para a China que figurou-se como o país que mais importou o produto, ultrapassando as 90,6 milhões de toneladas.

No Brasil, dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) no seu 10º levantamento sobre a temporada de safra 2019-2020 mostram números recordes de produção de soja. Na safra 2018-2019 a produção foi de 115,0 milhões de toneladas com previsão para a safra 2019-2020 em torno de 120,9 milhões de toneladas (CONAB, 2020).

O Estado do Paraná é o segundo maior produtor de soja no Brasil, estando atrás apenas do Mato Grosso. De acordo com o Departamento de Economia Rural (DERAL, 2020), órgão da Secretaria do Estado e do Abastecimento do Paraná (SEAB), em 2018 a produção no Estado foi de 19,2 milhões de toneladas, representando 16,3 % da produção nacional.

Em âmbito estadual, na safra 2017-2018, algumas regiões do Estado do Paraná foram destaques na produção, como a região Sul, com mais de 5,6 milhões de toneladas produzidas, seguida pela região Norte com mais de 4,6 milhões de toneladas e a Oeste, com aproximadamente 3,6 milhões de toneladas. Dentro desse contexto, a região de Londrina produziu na mesma safra pouco mais 1,0 milhões de toneladas (DERAL, 2020)

Já as exportações, o complexo soja no agronegócio paranaense cresceram 30% nos seis primeiros meses de 2020 em comparação ao mesmo período do ano anterior, superando os 3,3 bilhões de dólares, o que representou aproximadamente 9,4 milhões de toneladas do grão exportado (DERAL, 2020). Ainda, segundo o DERAL (2020), os destinos principais do produto para exportação foram a China, seguido pelo Paquistão e Bangladesh.

Os fatores que impulsionaram esse crescimento da produção e produtividade da soja nas condições tropicais e subtropicais em poucas décadas, foram principalmente os incentivos de ganhos monetários do produtor e os avanços em tecnologias de produção, visando sempre o alcance da máxima eficiência produtiva. Essa remuneração ao produtor a níveis mais elevados em relação a outras oleaginosas, também tem gerado vantagens competitivas no mercado.

Por ser considerada uma planta de dias curtos, sua adaptação depende além das condições hídricas e térmicas, também da sua exigência fotoperiódica (EMBRAPA, 2014). Ainda, segundo a EMBRAPA (2014), a sensibilidade

ao fotoperíodo varia entre as diversas cultivares disponíveis no mercado, diferindo na adaptabilidade à medida que se cultiva mais ao norte ou ao sul do país. De forma geral, estudos tem demonstrado que embora seja ampla a adaptação do cultivo da soja, o crescimento e desenvolvimento tem sido melhor em regiões cuja temperatura média está próxima aos 30°C e com regimes pluviométricos variando de 450 a 800 mm por ciclo de cultivo (EMBRAPA, 2014).

Em termos nutricionais, de acordo com o enfoque do presente estudo, para a cultura da soja, a disponibilidade de enxofre (S), em solos cujo teor de argila é > 40%, os níveis críticos de S são de 10 mg dm<sup>-3</sup> para a camada de 0 a 20 cm e 35 mg dm<sup>-3</sup> para a camada de 20 a 40 cm. Para os solos arenosos, com teores de argila < 40%, os níveis críticos do elemento estão na faixa de 2,8 a 3,0 mg dm<sup>-3</sup> na camada de 0 a 20 cm e de 9,0 mg dm<sup>-3</sup> para camada de 20 a 40 cm (SFREDO et al., 2003), como pode ser verificado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Interpretação dos teores de enxofre (S) no solo conforme as faixas de interpretação nas duas profundidades no perfil do solo (0-20 e 20-40 cm), para a cultura da soja.

Faixas para Interpretação		Solos Argiloso (>40% de argila)		Solos Arenosos (<40% de argila)		Quantidade de S a aplicar (kg ha <sup>-1</sup> )
0 a 20 cm	20 a 40 cm	0 a 20 cm	20 a 40 cm	0 a 20 cm	20 a 40 cm	
Baixo	Baixo	< 5	< 20	< 2	< 6	80 + M <sup>1</sup>
Baixo	Médio	< 5	20 a 35	< 2	6 a 9	60 + M
Baixo	Alto	< 5	> 35	< 2	> 9	40 + M
Médio	Baixo	5 a 10	< 20	2 a 3	< 6	60 + M
Médio	Médio	5 a 10	20 a 35	2 a 3	6 a 9	40 + M
Médio	Alto	5 a 10	> 35	2 a 3	> 9	M
Alto	Baixo	> 10	< 20	> 3	< 6	40 + M
Alto	Médio	> 10	20 a 35	> 3	6 a 9	M
Alto	Alto	> 10	> 35	> 3	> 9	M

Extrator: Fosfato monocalcico Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 M L<sup>-1</sup>; Determinação – turbidimétrica

<sup>1</sup>M = Manutenção: 10 kg de S para cada tonelada de grãos de soja esperada

5 kg de S para cada tonelada de grãos de milho esperada

**Fonte:** Adaptado de Sfredo et al. (2003)

## 2.2 ROTAÇÃO DE CULTURAS

A rotação de culturas é uma das principais práticas conservacionistas preconizadas pelo SPD, na qual por meio da utilização de diferentes espécies selecionadas e cultivadas de forma alternadas durante as safras, promove o equilíbrio da fertilidade e da microbiota do solo nos ambientes produtivos (EMBRAPA, 2014).

Essa importante prática pode ser observada quando se prioriza o cultivo da soja na safra principal e após a colheita faz-se a implantação alternada com trigo (*Triticum aestivum* L.), milho (*Zea mays* L.), Brachiarias (*Urochloa* spp.), aveia (*Avena sativa* L.), azevém (*Lolium perene* L.) e outras espécies com a finalidade de cobertura vegetal. Tais observações foi realizada por Allison (1973), que ressalta os benefícios provocados ao solo através da consorciação equilibrada de gramíneas e leguminosas. De acordo com Santos e Tomm (1999), a adoção da rotação de culturas em SPD traz melhorias nas condições físicas, biológicas e químicas do solo, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento radicular e sanitário das culturas sucessoras.

Ainda, segundo a EMBRAPA (2014), ao realizar a alternância de espécies na mesma área, os benefícios são variados como: preservação ou melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, melhoria na estruturação do solo, redução de pragas, plantas daninhas e doenças, viabilização da semeadura direta, redução na compactação do solo, minimização das erosões, aumento do sistema radicular etc.

No Estado do Paraná, é comum na maioria das regiões a utilização da rotação e/ou sucessão de culturas como por exemplo: soja/trigo, soja/milho, milho/aveia e soja/aveia. A escolha das espécies e da forma de realização, deve-se, além da disponibilidade de recursos financeiros, levar em consideração as características da região (condições climáticas), histórico de pragas, doenças e plantas daninhas, fertilidade do solo e escolha da cultura sucessora. Dentro desse contexto, o trigo [*Triticum aestivum* (L.) Thell] têm se apresentado uma excelente opção para o produtor rural, pois além da excelente cobertura vegetal e restos culturas depositados, ainda tem a finalidade comercial, onde atualmente encontra-se com preços atrativos no mercado interno.

O trigo é uma importante fonte de palhada, apresentando como características uma alta relação Carbono/Nitrogênio (C/N), que permite a palhada

persistir por mais tempo na superfície do solo e atuar na proteção contra erosões superficiais, temperatura e na diminuição da perda de umidade devido sua distribuição uniforme em toda superfície do solo. Além desses benefícios, tem-se ainda a economia de custos variáveis demandados na cultura da soja, como os produtos fitossanitários (Foloni, 2020).

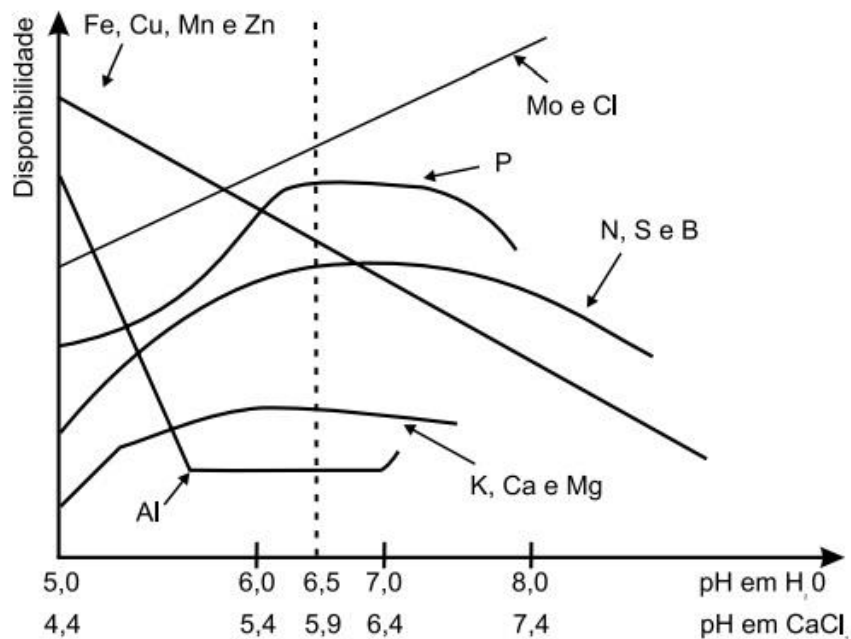
No Brasil, o plantio do trigo concentra-se na região Sul, porém é possível observar produção também em outros estados da região Sudeste e Centro-Oeste. Segundo dados do DERAL (2020), a produção paranaense nas safras de 2017 e 2018 foi de 2,2 e 2,8 milhões de toneladas respectivamente, o que representou 52,9% e 51,8% da produção nacional do grão, colocando o Estado do Paraná como o principal produtor nacional juntamente com o Estado do Rio Grande do Sul.

### 2.3 FERTILIDADE DO SOLO

A avaliação das condições químicas, biológicas e físicas para determinação da qualidade começa pela realização correta da amostragem de solo. Em SPD ou com revolvimento mínimo adota-se coletas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, principalmente quando se cultiva plantas de ciclo anual, como a soja, milho e trigo. Além da profundidade de amostragem, fatores, como o histórico de uso da área, tipo de solo, cultivo anterior, topografia, época da amostragem, equipamentos a ser utilizado, tamanho da área e cultura sucessora entre outros, devem ser levados em consideração.

De acordo com a EMBRAPA (2014), o objetivo principal de estratificar as coletas de solo em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) é avaliar a variação dos atributos químicos, físicos e biológicos nessas profundidades. Em relação a fertilidade, independente das culturas, a dinâmica dos nutrientes em relação à disponibilidade e tipo de manejo adotado pode ser alterado em função do pH do solo, como ilustrado na Figura 1 (MALAVOLTA, 1980).

**Figura 1.** Relação entre o pH e a disponibilidade dos elementos no solo.



Fonte: Malavolta (1980)

Como observado na Figura 1, a faixa ideal para a maior disponibilidade de nutrientes está na faixa de 6,0 a 7,0. Quando essas características não são atendidas há necessidade da correção da acidez do solo, e comumente para esse fim, utiliza-se o calcário, cujas características do tipo a ser usado depende da análise de solo. Além disso, para determinação da quantidade que será utilizada, também se leva em consideração os dados dos atributos químicos do solo e as necessidades de elevação do pH da cultura a ser instalada para obtenção do maior potencial produtivo.

Segundo a EMBRAPA (2016), quando se utiliza o método de saturação por base (V%), verifica-se que no Estado do Paraná é necessário elevar o valor para 70% para cultivo da soja e de 60 a 70% para o trigo (EMBRAPA, 2014). Ainda, esse método é feito com a seguinte fórmula:

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [(V_2 - V_1) T \times f] / 100$$

Onde:  $V_1$  = valor da saturação por bases trocáveis do solo, em porcentagem, antes da correção ( $V_1 = 100 S/T$ ) sendo:

$$S = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3}\text{)};$$

$V_2$  = valor da saturação por bases trocáveis que se deseja (70% Soja e Trigo);

$T$  = capacidade de troca de cátions,  $T \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3}\text{)} = S + (H + Al^{3+})$ ;

$f$  = fator de correção do PRNT do calcário  $f = 100/PRNT$ .

Além da correção da acidez, há a manutenção da fertilidade química obtida por meio da aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais, seja na base (plantio), seja em cobertura (pré-plantio ou pós-plantio). As demandas nutricionais de cada cultura, seguindo a extração média por parte da planta, podem ser observadas nas Tabelas 2 e 3 para a soja e trigo respectivamente.

**Tabela 2.** Quantidade absorvida e exportada de nutrientes pela cultura da soja.

Parte da Planta	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg (1000 kg <sup>-1</sup> ou g kg <sup>-1</sup> )						g (1000 kg <sup>-1</sup> ou mg kg <sup>-1</sup> )				
Grãos	51,0	10,0	20,0	3,0	2,0	5,4	20,0	10,0	70,0	30,0	40,0
Restos Culturais	32,0	5,4	18,0	9,2	4,7	10,0	57,0	16,0	390,0	100,0	21,0
Total	83,0	15,4	38,0	12,2	6,7	15,4	77,0	26,0	460,0	130,0	61,0
%Exportada	61,0	65,0	53,0	25,0	30,0	35,0	26,0	38,0	15,0	23,0	66,0

OBS: à medida que aumenta a matéria seca produzida por hectare, a quantidade de nutrientes nos restos culturais da soja não segue modelo linear

Fonte: Adaptado EMBRAPA (2014)

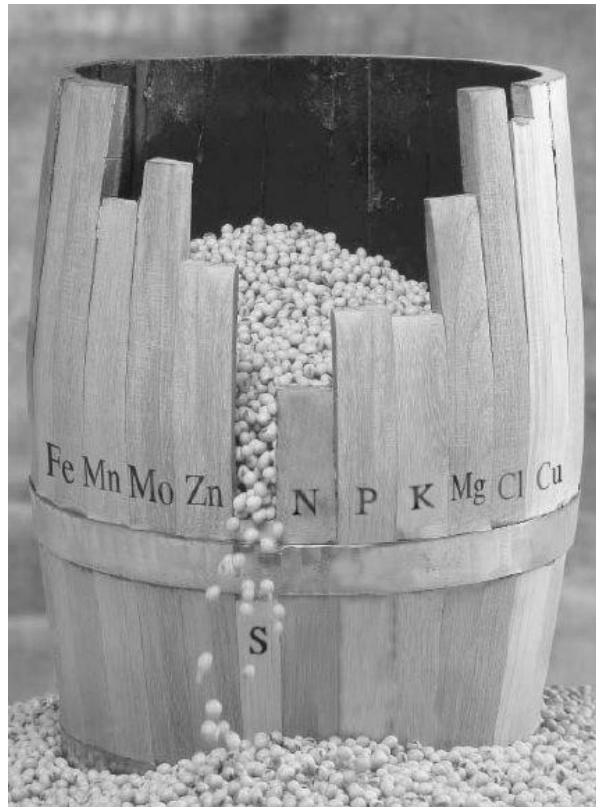
**Tabela 3.** Quantidade extraída e exportada de nutrientes pela cultura do trigo.

Parte da Planta	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg (1000 kg <sup>-1</sup> ou g kg <sup>-1</sup> )						g (1000 kg <sup>-1</sup> ou mg kg <sup>-1</sup> )				
Grãos	17,2	1,3	2,0	0,2	0,8	1,4	2,9	3,0	13,9	13,0	14,8
Restos Culturais	9,7	0,4	14,8	2,2	1,5	3,3	17,0	3,2	360,1	93,1	5,0
Total	26,9	1,7	16,8	2,4	2,3	4,7	19,9	6,2	374,0	106,1	19,8
%Exportada	64,0	76,5	12,0	8,3	34,7	29,8	14,6	48,4	3,71	12,25	74,7

Fonte: Adaptado Fontoura (1986)

Além dos aspectos para a correta manutenção e/ou reposição dos atributos químicos, vale ressaltar a importância do equilíbrio entre os nutrientes descrito por Liebig em 1843, no qual foi descrito como a “lei do mínimo” que o rendimento da cultura é determinado pelo fator em maior limitação (Figura 2) e Mitscherlich em 1909, propôs a lei do mínimo ampliada, sugerindo que “o rendimento das culturas é influenciado simultaneamente por todos os fatores limitantes” (WIETHÖLTER, 2011 in; VARGAS; CUNHA, 2011).

**Figura 2.** “Lei do Mínimo” de Liebig.



**Fonte:** Adaptado da Internet

Nesse contexto, embora os macronutrientes que apresentam maiores demandas para as culturas da soja e do trigo sejam o nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e enxofre (S) há necessidade de manter todos os outros em níveis adequados, uma vez que cada um desempenha papéis específicos e fundamentais no desenvolvimento das plantas (MALAVOLTA, 2006).

## 2.4 ENXOFRE

### 2.4.1 Importância do Enxofre na Agricultura

O S desempenha papel fundamental ao desenvolvimento das plantas. Uma vez que, juntamente com o N, são constituintes de proteínas, além do S ser o precursor dos aminoácidos metionina, cistina, cisteína e taurina (VITTI; HEIRINCHS, 2007). Ainda, o S está diretamente correlacionado na fixação biológica do  $N_2$  atmosférico, por participar da ferredoxina, enzima que origina a formação de  $H_2$ , necessário para a síntese da amônia ( $NH_3$ ) (MARCHNER, 2012).

De acordo com Malavolta (1978), a cultura da soja extrai do solo cerca de  $8,2 \text{ kg ha}^{-1}$  de S para cada tonelada produzida, enquanto o trigo exige  $4,3 \text{ kg ha}^{-1}$  de S. Estudos recentes, tem demonstrado que a produtividade é influenciada pela disponibilidade do nutriente no solo. Na cultura da soja, dependendo da cultivar e tipo de solo, os valores estimados variam de 25 a  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de S para cada  $500 \text{ kg ha}^{-1}$  de incremento (EMBRAPA, 2007).

A importância do S na agricultura embora seja antiga (MALAVOLTA, 2006), sua disponibilidade está diretamente relacionada as atuais técnicas de cultivo, como a prática do SPD, onde foi possível o aumento do teor de MOS no perfil do solo com ausência do revolvimento e/ou revolvimento mínimo associado a rotação ou sucessão de culturas.

#### 2.4.2 Enxofre no Solo

O S presente no sistema solo-planta-atmosfera pode estar disponível ou não dependendo do seu estado de oxidação e redução (VITTI; HEINRICHS, 2006). Como verificado por Horowitz e Meurer (2006), ao relatarem que quando se utilizou do método de determinação da taxa de oxidação do S através da incubação do solo com S-elementar por pelo menos 70 dias, observaram que nos latossolos, o aumento da quantidade de S-sulfato cresceu linearmente até o 70º dia, com início significativo da quantidade de S-sulfato oxidado após o 22º dia.

Outra observação importante foi verificada por Alvarez Venegas et al. (2007), ao observarem que em solos cuja intemperização ocorreu de forma mais acentuada, a deficiência de S foi maior e agravada, principalmente após altas produtividades em manejos intensivos de produção, onde ocorre a maior exportação do nutriente. Ainda, segundo Alvarez Venegas et al. (2007), a forma do S na solução do solo que a planta é mais capaz de absorver é o íon  $\text{SO}_4^{2-}$  e sua disponibilidade depende e está diretamente relacionado aos processos de adsorção/dessorção, mineralização, imobilização, além dos efeitos influenciados pelas raízes das plantas e presença de lixiviação (MENGEL; KIRKBY, 1987).

No solo, o ciclo biogeoquímico do S é semelhante ao do N, podendo se apresentar em uma variedade de compostos orgânicos e inorgânicos, fundamentalmente sob diferentes condições do solo como: pH, drenagem, teor de matéria orgânica, profundidade do perfil de solo, entre outros. De acordo com Vitti e

Heirinchs (2007), tanto N quanto S sofrem transformações biológicas no solo durante os processos de mineralização e imobilização.

Em situações em que o solo apresenta boa drenagem e não tem restrições hídricas, é comum observar a presença do S na forma orgânica. Sob essas condições, mais de 90% do S total concentra-se na fração orgânica (TISDALE et al., 1993; BISSANI; TEDESCO, 1988; ALVAREZ VENEGAS et al., 2007). Essas formas podem ser divididas em ésteres de sulfato, o S ligado diretamente ao carbono (C) e o S inerte (TISDALE et al., 1993). Os ésteres de sulfato compõem a fração mais lábil do S orgânico do solo e correspondem de 33 a 78% do S orgânico total. Já os compostos de S ligados ao C, como os aminoácidos (metionina, cisteína e cistina) e sulfolipídios, originados dos restos culturais (parte aérea e raízes) e da biomassa microbiana, representam entre 5 e 35% do total do S orgânico (VITTI; HEIRINCHS, 2007).

Os processos de mineralização para transformação do S orgânico contido na MOS em resíduos orgânicos até a forma mineral é estritamente microbiológico, em que os agentes produzem grande quantidade de enzimas proteolíticas extracelulares, capazes de hidrolisar as ligações ésteres e peptídicas de resíduos orgânicos, convertendo-as em moléculas com tamanhos variados, porém com significativa acidificação do meio (VITTI; HEIRINCHS, 2007).

As formas inorgânicas de S variam dependendo do estado de oxidação no solo onde as principais são o  $\text{SO}_4^{2-}$  em solução; adsorvido à fração sólida e formas reduzidas como o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), sulfito ( $\text{SO}_3^{2-}$ ), tiosulfato ( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ), S-elementar ( $\text{S}^0$ ) e sulfeto ( $\text{S}^{2-}$ ) (TISDALE et al, 1993; ALVAREZ VENEGAS et al., 2007). Em condições de anaerobiose, há redução do  $\text{SO}_4^{2-}$  para  $\text{S}^{2-}$ , a qual é encontrada comumente na forma de  $\text{H}_2\text{S}$  (gás sulfídrico), altamente volátil e pode ser fitotóxico em alguns casos (ALVAREZ VENEGAS et al., 2007).

#### 2.4.3 Enxofre na Planta

O S desempenha papel fundamental como precursor de aminoácidos essenciais, sendo constituinte de várias coenzimas e vitaminas, como coenzima A, S-adenosilmetionina, biotina, vitamina B<sub>1</sub> e ácido pantotênico e participa do transporte de elétrons pelos grupos ferro-enxofre (Fe-S) (MALAVOLTA, 2006; TAIZ et al., 2017).

Como já mencionado anteriormente, o S é preferencialmente absorvido pelas raízes como íon  $\text{SO}_4^{2-}$ . De acordo com Furlani (2004) e Malavolta

(2006), o principal mecanismo responsável pelo movimento de íons da solução de solo até a superfície das raízes durante o suprimento de S é via fluxo de massa, que após absorvido é transportado para os órgãos superiores via xilema e em seguida redistribuído pelo floema. Além de  $\text{SO}_4^{2-}$  tem se verificado que as plantas podem absorver do solo aminoácidos contendo S e S elementar. Além disso, pelas folhas e frutos as plantas podem também absorver  $\text{SO}_2$  presente na atmosfera (MENGEL; KIRKBY, 1987).

A mobilidade do S-sulfato no solo é similar à mobilidade do N-nitrato. Já o S elementar não se perde por lixiviação, o que garante maior durabilidade, porém, depende de um processo de oxidação para estar disponível para as plantas (VITTI; HEINRICHS, 2007). Na planta, assim como os demais nutrientes, o S é transportado na forma iônica (inorgânica) (MALAVOLTA, 1980 e 2006; MARSCHNER, 2012). Em termos agrônômicos, segundo EMBRAPA (2005), após utilização do fosfogesso há melhoria significativa na distribuição radicular de plantas de milho no perfil do solo.

Efeito esperado também nas culturas da soja e trigo, visto que os benefícios são diretos no fornecimento do S, principalmente no transporte de cátions, como o cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) e para as camadas inferiores, neutralizando o alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) tóxico. Na Figura 3 a seguir, observa-se a distribuição das raízes ilustrado por AGROTÉCNICO (2020).

**Figura 3.** Esquema da distribuição relativa de raízes da soja no perfil do solo com e sem aplicação de fosfogesso.



Fonte: AGROTÉCNICO (2020)

No entanto, na planta, o processo de assimilação do sulfato ocorre preferencialmente nas folhas, a partir da necessidade de redução do sulfato para  $\text{SH}^-$  para incorporação de S nos aminoácidos, proteínas e coenzimas; e pelo poder redutor, que é a ferredoxina nas folhas verdes (FURLANI, 2004), visto que o sulfato também pode ser incorporado sem ser reduzido em estruturas orgânicas, como os sulfolipídios de membranas, e o S quando reduzido pode ser reoxidado, mantendo o controle alostérico do processo de redução do sulfato (FURLANI, 2004).

Quanto a mobilidade do S no floema, esse é classificado como pouco móvel e pode ser encontrado tanto na sua forma reduzida (glutathiona, metionina e cisteína), quanto na forma de  $\text{SO}_4^{2-}$ , sendo que a distribuição está diretamente relacionada ao nível da nutrição nitrogenada (FURLANI, 2004). Se o suprimento do nutriente não for adequado, alguns sintomas visuais podem ser confundidos facilmente com as deficiências de N, como verificado na Figura 4, cujos sintomas em plantas de soja aparecem na forma de clorose das folhas com cor verde-amareladas (folhas jovens), redução no porte da planta, desenvolvimento de hastes delgadas, rígidas e alongadas (MALAVOLTA, 1980).

**Figura 4.** Sintomas característicos da deficiência de enxofre em soja.



Fonte: o próprio autor

De acordo com Furlani (2004) e Taiz, et al. (2017), a redução da parte aérea e clorose acentuada em folhas mais novas deve-se, principalmente pela diminuição de clorofila. Característica também observada por Moreira e Moraes (2016), além da redução na produtividade de grãos.

Contudo é importante conhecer as formas de absorção do S para que o suprimento seja realizado de forma adequada. Em estudos realizados com os macronutrientes utilizados na cultura da soja, tem-se que o S, assim como o calcário, fonte de Ca e Mg, podem ser aplicados tanto incorporado com revolvimento do solo ou a lanço em SPD, diferentemente do K que deve ser realizado a sua maior parte em cobertura, enquanto o P que deve ser no sulco de plantio e o N via inoculação das sementes (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012; MOREIRA; MORAES, 2018).

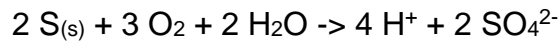
#### 2.4.4 Fontes de Enxofre

A legislação vigente que trata sobre a natureza e premissas para uso agrícola de nutrientes minerais, pode ser encontrada na Instrução Normativa nº10 de 06 de maio de 2004. As fontes de S comumente utilizadas nos sistemas produtivos são na forma de gesso agrícola (fosfogesso) (15% de S), enxofre elementar (mais que 90% de S), superfosfato simples (12% de S) e/ou em formulações de NPK que contêm S em concentrações variadas.

Das fontes indicadas, o gesso agrícola apresenta teor entre 15 e 18% de S em sua composição (VITTI; HEIRINCHS, 2007) e é extraído a partir da fabricação de ácido fosfórico [expressa pela reação:  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 + 10\text{H}_2\text{SO}_4 + 20\text{H}_2\text{O} \rightarrow 10\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 6\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{HF}$ ] ou pela manufatura de gipsita moída ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e aquecida entre 190 a 200°C, até que cerca de 86% da água tenha sido eliminada (Van RAIJ, 2008). Ainda, segundo Van Raij (2008), no Brasil, há maior concentração das jazidas de gipsita nas regiões Nordeste, Norte e Centro-Oeste, enquanto o fosfogesso é produzido no Sudeste e Centro-Oeste, o que caracteriza a importância de cada fonte para distintas regiões.

Outra fonte que tem sido utilizado com frequência é o S elementar ( $\text{S}^0$ ). Segundo Vitti e Heirinchs (2007), essa fonte apresenta teor acima de 85% de S. Embora apresente alta concentração, seu uso é dependente de inúmeras reações para que esteja prontamente disponível na solução do solo. Em algumas condições estima-se um período necessário de 18 a 35 dias após a aplicação do produto na forma elementar para que ocorra completa disponibilização, visto que quando aplicado no solo, necessita da oxidação a sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) para que a planta o absorva, sendo essa reação catalisada por microrganismos (HOROWITZ; MEURER, 2006), o que

pode resultar em acidificação no meio através da liberação de íons  $H^+$  em solução, conforme reação de oxidação:



Segundo Broch et al. (2011), outra fonte importante é o superfosfato simples (SS) é um fertilizante de rápida solubilidade e com teor de 12% de S- $SO_4^{2-}$  na sua composição, disponibilizando facilmente os nutrientes para as culturas. Sua fórmula química pode ser definida por  $Ca(H_2PO_4)_2 + 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$  (VITTI; HEIRINCHS, 2007). As formulações utilizadas nas culturas do milho e soja que estão no mercado apresentam concentrações máximas de até 15% de S com variações entre fornecedores de 4,0 a 9,0%. É relevante salientar que nessa forma de aplicação, o S é fornecido no momento do plantio, ficando prontamente disponível para a cultura implantada.

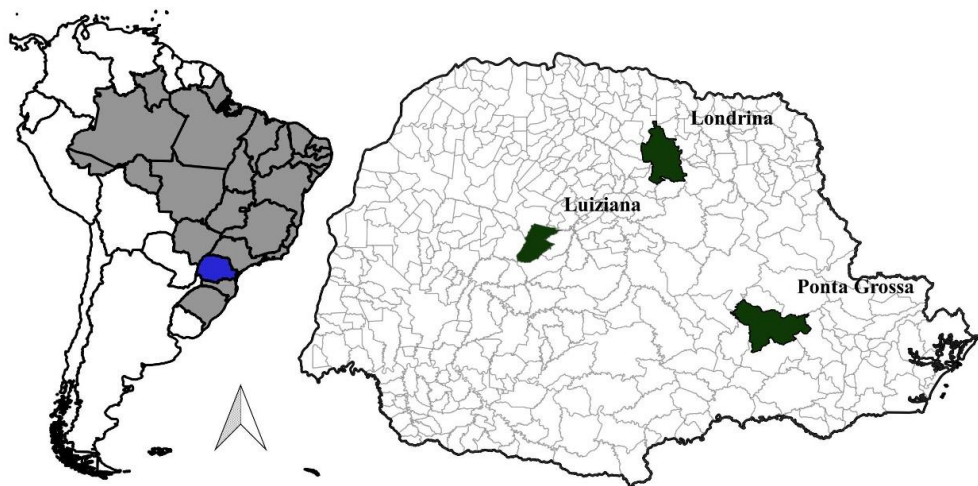
De acordo com o SIACESP (Sindicato da Indústria de Adubos e Corretivos Agrícolas no Estado de São Paulo, 2018), no ano de 2017, a importação nacional de superfosfato simples e S elementar foram de aproximadamente 2,6 milhões de toneladas. Desses montantes, o S elementar teve um aumento nas importações em relação ao ano de 2016 de 4,9%, enquanto no superfosfato simples houve redução na ordem de 0,3%.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCAIS, CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E TIPO DE SOLOS

Os trabalhos foram realizados em três locais distintos no Estado do Paraná (Figura 5), sendo o primeiro (Experimento 1) no município de Londrina, coordenadas geodésicas 23°10'56.7"S; 51°10'25.1"W, altitude de 600 m. O segundo (Experimento 2) em Luiziana, coordenadas geodésicas 24°22'59.3"S; 52°24'46.7"W, altitude de 520 m e o terceiro (Experimento 3) em Ponta Grossa/PR, coordenadas geodésicas 25°09'32.8"S; 50°04'29.0"W, altitude de 885 m.

**Figura 5.** Municípios de realização dos campos experimentais.



**Fonte:** o próprio autor

O clima dos municípios de Londrina e Luiziana é descrito como clima subtropical úmido (Cfa) e o de Ponta Grossa como clima subtropical úmido mesotérmico (Cfb), ambos com temperatura do ar média do mês mais frio inferior a 18°C e temperatura do ar média no mês mais quente acima de 22°C, porém no Cfb, as temperaturas no verão são amenas e geadas frequentes no inverno, contrastando com o Cfa (KÖPPEN, 1948).

Os solos das áreas experimentais, foram classificados como Latossolo Vermelho eutroférico (Londrina), Latossolo Vermelho distroférico (Luiziana) e Latossolo Vermelho distrófico (Ponta Grossa), todos com textura argilosa (EMBRAPA, 2013).

### 3.2 CULTIVARES E TRATAMENTOS DE SEMENTES

Os trabalhos foram conduzidos nas safras de verão 2018-2019 e 2019-2020 utilizando o trigo em sucessão nas safras de inverno 2019 e 2020. Em Londrina e Ponta Grossa a escolha da cultivar de soja foi devido à adaptação do material ao ambiente de produção, sendo utilizado a M 5947 IPRO (Monsoy). Em Luiziana foi utilizado a cultivar DM 5958 IPRO (Don Mario), conforme padrão da área. Em todas as áreas seguiu-se o mesmo arranjo espacial com 0,45 m de espaçamento entre linhas e 10-12 sementes/metro linear, obtendo populações entre 222.222 e 266.666 plantas por hectare, conforme recomendações dos obtentores.

Foi utilizado para o tratamento químico das sementes de soja o produto comercial Standak Top® (Fipronil – 250g L<sup>-1</sup>, Piraclostrobina – 25 g L<sup>-1</sup> e Tiofanato-Metílico – 225 g L<sup>-1</sup>) na dosagem de 2 mL kg<sup>-1</sup> de semente de produto comercial + 0,5 mL kg<sup>-1</sup> de semente de Co-Mo Platinum Stoller® (Mo 15% - 235,50 g/L e Co 1,5% - 23,55 g L<sup>-1</sup>) + 3,45 mL kg<sup>-1</sup> de semente do Inoculante líquido MastefixL Stoller® (5 x 10<sup>9</sup> ou 5 bilhões de células de *Bradyrhizobium* por mL).

Para a cultura do trigo, foram utilizadas a cultivar BRS Galha Azul (Embrapa) em Ponta Grossa e Londrina e em Luiziana a cultivar TBIO TORUK (Biotrigo), em todas as áreas foram semeadas com espaçamento de 0,17 m entre linhas com 141 kg ha<sup>-1</sup> a 160 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, conforme recomendações para as regiões em estudo. No trigo, o tratamento de semente foi com Vitavax-Thiram 200 SC® (Carboxina, 200 g L<sup>-1</sup> e Tiram, 200 g L<sup>-1</sup>) na dosagem de 3,0 mL kg<sup>-1</sup> de semente de produto comercial.

### 3.3 ANÁLISE DE FERTILIDADE DO SOLO

Antes da realização dos tratamentos e implantação dos campos experimentais, foram realizadas as análises de solo nas camadas de 0-10 a 10-20 cm para avaliação dos atributos químicos e posteriores diferenças que pudessem ser observados com os tratamentos aplicados. Nas tabelas 4, 5, 6, 7, 8 e 9 constam as análises das áreas dos municípios de Luiziana, Ponta Grossa e Londrina, respectivamente.

De acordo com Moreira et al. (2019) os valores de saturação por base estavam próximos a 60% não necessitando a realização de aplicação de calcário. As

adubações de base das áreas seguiram com utilização de 269 kg ha<sup>-1</sup> do formulado NPK, 02-28-20 + micronutrientes da linha Micro Essentials® da Mosaic®. Segundo dados do fabricante este fertilizante apresenta a seguinte fórmula: 2% de N, 28% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20% de K<sub>2</sub>O, 1% de S, 0,10% de Zn, 0,05% de B, 0,05% de Cu e 0,10% de Mn. Adicionalmente à adubação de base foi realizado a adubação complementar com S, 40 dias antes do plantio.

**Tabela 4.** Atributos químicos do solo coletado na camada de 0-10 cm antes da instalação do experimento em Luiziana, Paraná.

Camada	pH	MOS <sup>(1)</sup>	P (Mehlich 1) <sup>(2)</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	S-SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
	CaCl <sub>2</sub>	mg kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>
0-10 cm	4,9	16,9*	10,6	0,6	6,2	1,0	0,0 0	21,0
Camada	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	CTC <sup>(4)</sup>	V <sup>(5)</sup>	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		%	mg kg <sup>-1</sup>				
0-10 cm	6,0	13,8	56,6	9,2	38,2	172,9	6,2	0,3

(1) MOS – Matéria orgânica do solo; (2) Fósforo extraído por Mehlich 1; (4) CTC – Capacidade de troca de cátions; (5) V – Saturação por bases

Fonte: o próprio autor

**Tabela 5.** Atributos químicos do solo coletado na camada de 10-20 cm antes da instalação do experimento em Luiziana, Paraná.

Camada	pH	MOS <sup>(1)</sup>	P (Mehlich) <sup>(2)</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	S-SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
	CaCl <sub>2</sub>	mg kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>
10-20 cm	4,9	14,8	7,5	0,4	5,79	1,0	0,0	29,9
Camada	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	CTC <sup>(4)</sup>	V <sup>(5)</sup>	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		%	mg kg <sup>-1</sup>				
10-20 cm	6,2	13,5	53,9	10,8	41,0	157,2	6,3	0,3

(1) MOS – Matéria orgânica do solo; (2) Fósforo extraído por Mehlich 1; (4) CTC – Capacidade de troca de cátions; (5) V – Saturação por bases

Fonte: o próprio autor

**Tabela 6.** Atributos químicos do solo coletado na camada de 0-10 cm antes da instalação do experimento em Ponta Grossa, Paraná.

Camada	pH	MOS <sup>(1)</sup>	P (Mehlich) <sup>(2)</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	S-SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
	CaCl <sub>2</sub>	mg kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>
0-10 cm	4,8	51,3	5,3	0,6	3,1	2,3	0,4	1,5
Camada	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	CTC <sup>(4)</sup>	V <sup>(5)</sup>	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		%	mg kg <sup>-1</sup>				
0-10 cm	4,3	10,3	58,2	1,9	51,6	10,3	0,8	0,4

(1) MOS – Matéria orgânica do solo; (2) Fósforo extraído por Mehlich 1; (4) CTC – Capacidade de troca de cátions; (5) V – Saturação por bases

Fonte: o próprio autor

**Tabela 7.** Atributos químicos do solo coletado na camada de 10-20 cm antes da instalação do experimento em Ponta Grossa, Paraná.

Camada	pH	MOS <sup>(1)</sup>	P (Mehlich) <sup>(2)</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	S-SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
	CaCl <sub>2</sub>	mg kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>
10-20 cm	4,7	51,3	2,0	0,4	1,8	0,7	0,1	2,3
Camada	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	CTC <sup>(4)</sup>	V <sup>(5)</sup>	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		%	mg kg <sup>-1</sup>				
10-20 cm	5,6	8,3	33,5	1,7	40,5	12,1	1,1	0,3

(1) MOS – Matéria orgânica do solo; (2) Fósforo extraído por Mehlich 1; (4) CTC – Capacidade de troca de cátions; (5) V – Saturação por bases

Fonte: o próprio autor

**Tabela 8.** Atributos químicos do solo coletado na camada de 0-10 cm antes da instalação do experimento em Londrina, Paraná.

Camada	pH	MOS <sup>(1)</sup>	P (Mehlich) <sup>(2)</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	S-SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
	CaCl <sub>2</sub>	mg kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>
0-10 cm	5,1	40,3	22,3	1,1	5,2	2,1	0,0	3,2
Camada	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	CTC <sup>(4)</sup>	V <sup>(5)</sup>	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		%	mg kg <sup>-1</sup>				
0-10 cm	3,8	12,2	68,8	5,2	84,2	97,3	6,8	0,5

(1) MOS – Matéria orgânica do solo; (2) Fósforo extraído por Mehlich 1; (4) CTC – Capacidade de troca de cátions; (5) V – Saturação por bases

Fonte: o próprio autor

**Tabela 9.** Atributos químicos do solo coletado na camada de 10-20 cm antes da instalação do experimento em Londrina, Paraná.

Camada	pH	MOS <sup>(1)</sup>	P (Mehlich) <sup>(2)</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	S-SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
	CaCl <sub>2</sub>	mg kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>
10-20 cm	4,3	21,7	6,8	0,3	1,9	1,0	0,2	3,7
Camada	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	CTC <sup>(4)</sup>	V <sup>(5)</sup>	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		%	mg kg <sup>-1</sup>				
10-20 cm	6,3	9,5	33,7	1,4	68,9	22,7	0,7	0,2

(1) MOS – Matéria orgânica do solo; (2) Fósforo extraído por Mehlich 1; (4) CTC – Capacidade de troca de cátions; (5) V – Saturação por bases

**Fonte:** o próprio autor

### 3.4 DOSES E FONTES DE ENXOFRE

Como o objeto do trabalho foi avaliar o desempenho da soja com a nutrição com o S em diferentes fontes e doses, os tratamentos consistiram em um controle absoluto (dose 0 kg ha<sup>-1</sup>) e três fontes de S: gesso agrícola (fosfogesso) com 14% de S, S-elementar - Sulfurgran® com 90% de S e gesso de gipsita com 13% de S. As definições das doses das fontes fosfogesso e gipsita foram com base na concentração de SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, as quais foram ajustadas para obtenção de 140 kg ha<sup>-1</sup>, 280 kg ha<sup>-1</sup> e 560 kg ha<sup>-1</sup> de SO<sub>4</sub><sup>-</sup>. O S-elementar por estar na forma de S<sup>0</sup>, utilizou-se como dose referência inicial 60 kg ha<sup>-1</sup> e aumentando para 120 kg ha<sup>-1</sup> e 240 kg ha<sup>-1</sup>.

Desta forma a denominação dos tratamentos são: T<sub>1</sub> (Controle Absoluto); T<sub>2</sub> (Fosfogesso – 1000 kg ha<sup>-1</sup> ou 2,2 kg por parcela); T<sub>3</sub> (Fosfogesso – 2000 kg ha<sup>-1</sup> ou 4,4 kg por parcela); T<sub>4</sub> (Fosfogesso – 4000 kg ha<sup>-1</sup> ou 8,8 kg por parcela); T<sub>5</sub> (Enxofre elementar – 60 kg ha<sup>-1</sup> ou 132 g por parcela); T<sub>6</sub> (Enxofre elementar – 120 kg ha<sup>-1</sup> ou 264 g por parcela); T<sub>7</sub> (Enxofre elementar – 240 kg ha<sup>-1</sup> ou 528 g por parcela); T<sub>8</sub> (Gesso gipsita – 1000 kg ha<sup>-1</sup> ou 2,2 kg por parcela); T<sub>9</sub> (Gesso gipsita – 2000 kg ha<sup>-1</sup> ou 4,4 kg por parcela) e T<sub>10</sub> (Gesso gipsita – 4000 kg ha<sup>-1</sup> ou 8,8 kg por parcela).

Essas doses foram definidas de acordo as respostas de aplicação de gesso realizado por Kaneko et al. (2015) para o cultivo da soja nos quais verificaram que produção máxima estimada foi obtido aproximadamente 2000 kg ha<sup>-1</sup> de fosfogesso. Os tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com a

necessidades seguindo o manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas (Embrapa, 2020).

### 3.5 AVALIAÇÕES DO EXPERIMENTO

As avaliações foram:

- a) característica fisiológica (teor de clorofila) através da leitura SPAD, com o aparelho SPAD-502 (Minolta) e depois convertidas em teor de clorofila pela equação  $\hat{y} = 16,033 + (7,5774 \times SPAD)$  proposta por Fritschi e Ray (2007) para a cultura da soja.
- b) teores de óleo e proteína nos grãos.
- c) altura de planta (m)
- d) componentes produtivos: número de vagens (nº absoluto), número de grãos

Além disso, durante o ciclo da cultura da soja, foram realizadas as avaliações do estado nutricional das plantas por meio da análise foliar, através da coleta das folhas com pecíolo (trifólios 3 e 4 a contar do ápice) no estágio R<sub>2</sub> da soja (FEHR et al., 1971). Após coleta, conforme Malavolta et al. (1997), as folhas foram secas em estufa de circulação forçada a 65°C e, posteriormente moídas para determinação dos teores totais de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn.

Após a colheita de cada ciclo da soja, foram realizadas as coletas de solo de cada parcela em todas as áreas experimentais, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm para avaliação dos atributos químicos do solo (pH, MO, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg-, H+Al, Al<sup>3+</sup>, S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, B, Cu, Fe, Mn e Zn) de acordo com Embrapa (1997).

Tanto as análises foliares como as análises de solo foram realizadas nos Laboratório de Solos da Universidade Estadual de Londrina (UEL) e no Laboratório Santa Rita em Mamborê, PR. Já os teores de óleo e proteína nos grãos foram obtidos na Embrapa por meio do NIR (Espectrômetro de infravermelho próximo).

### 3.6 DELINEAMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com arranjo fatorial (doses x fontes, 3 x 3 + 1 parcela controle) e quatro repetições.

Devido as características distintas de cada fonte de S e localidades dos experimentos, cada fonte e local foi analisado separadamente.

Por não apresentar interação significativa dos anos individualmente foram analisadas as médias dos anos estudados.

Em todas as análises foram realizadas as análises de normalidade e homogeneidade de variâncias dos dados obtidos para cada variável. Os resultados dos tratamentos com doses foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e teste F ao nível de 5% de probabilidade. Para todas as variáveis foi utilizado o software estatístico SISVAR®.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. COMPONENTES DE PRODUÇÃO

Na média das duas safras de soja, verificou-se que nos diferentes locais de cultivo, após a aplicação das doses das três fontes de S não houve diferença estatística significativa para os tratamentos em relação ao peso de 100 sementes, número de grãos por vagem, teor de clorofila e tamanho de grãos, (Tabelas 10, 11 e 12). Resultados contrários relacionados ao peso de 100 grãos, foram observados por Zhao et al. (2008), pois em condições de deficiência de S, o suprimento por meio da fertilização é positivo. Neste trabalho como observado nas tabelas 7 a 9, os teores eram médios a alto tanto para as camadas de 0-10 cm como para 10-20 cm.

Para os teores de óleo e proteínas, diferente dos resultados encontrado por Ibañez et al. (2021), quando se utilizou fontes de S como S-elementar e gipsita, não houve variação para essas duas variáveis. Resultado semelhante também foi obtido por Loreto y Sampaio (2020) em soja cultivada nas mesmas condições edafoclimáticas.

Nas condições edafoclimáticas de Ponta Grossa, a altura de plantas (AP), número de vagens por planta e número de grãos por plantas tiveram efeito significativo dos tratamentos, sendo que nessas condições, a maior média de AP foi obtida com a aplicação de gipsita, sendo superior ao fosfogesso e S-elementar. Resultados semelhantes foram identificados em trabalho realizado por Broch et al. (2011) e Ibañez et al. (2021), o qual verificou aumento significativo no número de grãos por vagem e número de grãos por planta.

No entanto, quando se observa os outros dois componentes de produção, o tratamento com S-elementar foi superior em 9,6% em relação à gipsita e 6,4% superior em relação ao fosfogesso em número de vagens por planta e superior em 9,9% sobre Gipsita e 9,0% sobre o fosfogesso em número de grãos por planta (Tabela 9). Vale ressaltar que a dose de S de 120 kg ha<sup>-1</sup> de S-elementar, foi a que apresentou melhor resultado para estas variáveis analisadas (Tabela 9).

No cultivo em Londrina, ao analisar a AP, número de vagens por planta e número de grãos por vagens, também se observou efeito significativo entre as fontes de S, sendo que nessas condições a média geral da fonte de S-elementar foi superior aos demais tratamentos para AP (Tabela 10). Diferente do observado em

Ponta Grossa, nas condições edafoclimáticas de Londrina, para as variáveis número de vagens por planta e número de grãos por planta as fontes de S como fosfogesso e gipsita, foram superiores à fonte de S-elementar, maior em 1,5% para número de vagens por planta e 3,4% para número de grãos por planta (Tabela 10). De tal forma que, nestas condições para as fontes de fosfogesso e gipsita, a dose de 2.000 kg ha<sup>-1</sup> mostrou ter sido mais efetiva nas variáveis descritas anteriormente (Tabela 10). Resultados semelhantes utilizando diferentes fontes corroboram este trabalho conferindo superioridade das fontes de S (gipsita) sobre S-elementar (Ibañez et al. 2021).

Na Tabela 11, na soja cultivada em Luiziana a análise de variância demonstrou que na média dos dois anos de cultivo houve diferença significativa nas variáveis número de vagens por planta e número de grãos por planta, com ligeira superioridade do fosfogesso em relação aos demais tratamentos (gipsita e S-elementar). Para as doses neste local de estudo, observa-se que quando se utilizou de 240 kg ha<sup>-1</sup> de S-elementar, os resultados foram maiores e quando se utilizou 2.000 kg ha<sup>-1</sup> de fosfogesso e gipsita, também foram melhores (Tabela 11).

Sugere-se com o presente trabalho que de forma geral, a superioridade das fontes como o gesso agrícola e gipsita, por apresentar menor tamanho de partícula (pó) e conseqüente maior área de contato em relação a fonte de S-elementar (pastilhado), tem melhor possibilidade de reação com a solução do solo e desta forma está disponível mais rápido favorecendo o crescimento e desenvolvimento da planta, assim como sugere Degryse et al. (2016).

Outro fator considerado com a utilização do S-elementar é a influência de fatores biótico e abióticos necessários para oxidação desta fonte e que apresenta maior tempo para que esteja prontamente disponível (Brahim et al. 2017).

**Tabela 10.** Médias dos componentes de produção, teor de clorofila, teor de óleo e proteína e tamanho de grãos nos ciclos de cultivo de soja 2018-2019 e 2019-2020, em função de fontes e doses de enxofre cultivada em Ponta Grossa/PR.

Fontes de S	Doses de S	100 sementes	Altura	Vagens por planta	Grãos por planta	Grãos por viagem	Clorofila	>4,76×19,05	4,76×19,05	<4,76×19,05	Óleo	Proteína
	(kg ha <sup>-1</sup> )	(g)	(cm)	(n)	(n)	(n)	mg m <sup>-2</sup>	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(%)
Fosfogesso	0	17,3	92,3	96,5	244,9	2,4	350,7	97,8	1,0	2,0	21,5	36,4
	1000	17,4	93,7	102,0	258,9	2,5	352,7	98,3	1,0	1,8	21,7	35,8
	2000	17,3	94,8	115,7	267,9	2,6	349,6	97,5	1,0	2,5	21,6	36,2
	4000	17,4	101,2	105,1	253,3	2,3	353,9	98,3	1,0	1,8	21,5	36,2
	Média	17,4	95,5	104,8	256,2	2,4	351,7	97,9	1,0	2,0	21,6	36,1
Teste F		ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Gipsita	0	17,3	92,3	96,5	244,9	2,4	350,7	97,8	1,0	2,0	21,5	36,4
	1000	17,1	100,3	95,1	253,3	2,4	347,6	98,3	0,3	1,8	22,4	35,6
	2000	17,3	97,0	107,0	254,9	2,6	348,7	97,5	1,0	2,5	21,9	35,9
	4000	17,2	96,9	106,8	261,6	2,5	352,2	98,0	1,0	2,0	21,3	36,4
	Média	17,2	96,6	101,3	253,7	2,5	349,8	97,9	0,8	2,1	21,8	36,1
Teste F		ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S-elementar	0	17,3	92,3	96,5	253,3	2,4	350,7	93,8	4,0	2,0	21,5	36,4
	60	17,1	93,6	122,4	299,4	2,5	351,0	93,3	4,5	2,3	20,7	36,3
	120	17,5	94,8	131,7	329,0	2,6	359,4	93,3	4,8	2,0	21,9	35,8
	240	17,3	97,3	97,5	244,4	2,5	347,6	93,0	4,3	2,8	21,4	35,7
	Média	17,3	94,5	112,0	281,5	2,5	352,1	93,3	4,4	2,3	21,4	36,1
Teste F		ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Média	17,3	95,5	106,0	263,8	2,4	351,2	96,4	2,1	2,1	21,6	36,1

\* e <sup>ns</sup> significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro, respectivamente

**Fonte:** o próprio autor

**Tabela 11.** Médias dos Componentes de Produção, Teor de Clorofila, Teor de Óleo e Proteína e Tamanho de Grãos nos ciclos de cultivo de soja 2018/2019 e 2019/2020, em função de fontes e doses de enxofre cultivada em Londrina/PR.

Fontes de S	Doses de S	100 sementes	Altura	Vagens por planta	Grãos por planta	Grãos por vagem	Clorofila	>4,76×19,05	4,76×19,05	<4,76×19,05	Óleo	Proteína
	(kg ha <sup>-1</sup> )	(g)	(cm)	(n)	(n)	(n)	mg m <sup>-2</sup>	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(%)
Fosfogesso	0	15,1	81,5	59,1	146,3	2,4	396,8	67,0	7,3	28,3	21,6	37,1
	1000	15,1	82,3	65,1	154,0	2,4	389,5	65,3	8,0	34,8	21,1	38,0
	2000	15,4	83,7	61,1	160,5	2,5	324,5	72,8	5,3	50,0	21,8	36,8
	4000	15,0	84,8	62,1	155,2	2,5	329,2	68,3	7,5	31,8	21,6	37,5
	Média	15,2	83,1	61,9	154,0	2,5	360,0	68,3	7,0	36,2	21,5	37,4
Teste F		ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Gipsita	0	15,1	81,5	59,1	146,3	2,4	396,8	67,0	7,3	28,3	21,6	37,1
	1000	14,9	83,9	60,8	160,5	3,0	333,3	68,0	7,5	32,0	20,9	38,2
	2000	15,3	87,0	65,1	157,2	2,5	334,8	68,8	7,3	31,3	21,2	37,5
	4000	14,9	83,5	62,6	149,0	2,5	335,2	63,0	8,8	37,0	21,6	37,3
	Média	15,0	84,0	61,9	153,3	2,6	350,0	66,7	7,7	32,1	21,3	37,5
Teste F		ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S-elementar	0	15,1	81,5	59,1	146,3	2,4	396,8	42,8	24,3	28,3	21,6	37,1
	60	15,2	86,1	62,6	150,7	2,4	328,8	44,3	23,5	32,3	20,7	37,3
	120	15,3	87,9	63,8	155,4	2,4	326,7	49,0	22,8	28,3	22,1	36,7
	240	15,2	84,7	58,3	142,4	2,4	330,7	48,5	23,3	28,3	21,3	37,1
	Média	15,2	85,1	61,0	148,7	2,4	345,8	46,1	23,4	29,3	21,4	37,0
Teste F		ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Média	15,1	84,1	61,6	152,0	2,5	351,9	60,4	12,7	32,5	21,4	37,3

\* e <sup>ns</sup> significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro, respectivamente

Fonte: o próprio autor

**Tabela 12.** Médias dos Componentes de Produção, Teor de Clorofila, Teor de Óleo e Proteína e Tamanho de Grãos nos ciclos de cultivo de soja 2018/2019 e 2019/2020, em função de fontes e doses de enxofre cultivada em Luiziana/PR.

Fontes de S	Doses de S	100 sementes	Altura	Vagens por planta	Grãos por planta	Grãos por vagem	Clorofila	>4,76×19,05	4,76×19,05	<4,76×19,05	Óleo	Proteína
	(kg ha <sup>-1</sup> )	(g)	(cm)	(n)	(n)	(n)	mg m <sup>-2</sup>	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(%)
Fosfogesso	0	14,2	84,7	55,6	139,6	2,5	324,9	61,3	8,5	30,5	22,2	36,5
	1000	14,1	84,9	62,4	154,7	2,5	325,1	61,5	10,0	36,8	21,8	36,7
	2000	14,2	87,1	61,8	152,8	2,4	321,4	70,5	6,8	28,8	22,3	36,5
	4000	14,6	82,8	59,5	147,8	2,4	320,9	66,3	7,2	31,4	22,0	36,9
	Média	14,3	84,9	59,8	148,7	2,4	323,1	64,9	8,1	31,9	22,0	36,6
Teste F		ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Gipsita	0	14,2	84,7	55,6	139,6	2,5	324,9	61,3	8,5	30,5	22,2	36,5
	1000	14,2	84,8	58,3	144,9	2,5	317,6	63,0	7,7	32,2	21,8	37,2
	2000	14,4	88,3	60,4	147,8	2,5	317,6	70,3	8,3	32,3	22,0	36,4
	4000	14,5	87,4	63,6	148,6	2,4	320,1	60,9	10,6	38,8	22,3	36,4
	Média	14,3	86,3	59,5	145,2	2,5	320,0	63,9	8,7	33,4	22,1	36,6
Teste F		ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S-elementar	0	14,2	84,7	55,6	139,6	2,5	324,9	39,8	21,5	30,5	22,2	36,5
	60	14,3	85,4	60,2	145,7	2,4	328,8	42,0	21,2	34,3	21,5	36,7
	120	14,3	84,6	60,4	147,8	2,4	331,0	46,8	22,5	30,8	22,2	36,3
	240	14,1	85,8	61,8	151,1	2,5	320,0	42,3	21,8	28,8	21,8	36,2
	Média	14,2	85,1	59,5	146,1	2,4	326,2	42,7	21,7	31,1	21,9	36,4
Teste F		ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média		14,3	85,4	59,6	146,7	2,4	323,1	57,2	12,8	32,1	22,0	36,5

\* e <sup>ns</sup> significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro, respectivamente

Fonte: o próprio autor

## 4.2 TEOR FOLIAR (MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES)

Observa-se na Tabela 13 que, nas condições de estudo, após aplicação das diferentes fontes de S, houve incremento significativo nos teores de N, Ca e S em folhas. Dentro de cada tratamento com a variação da dose, quando se utilizou o S-elementar o maior resultado foi obtido com 240 kg ha<sup>-1</sup> para teor de S e dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> para teor de N e Ca. Na média dos tratamentos para as fontes de Fosfogesso e Gipsita as doses com melhores resultados foram de 1.000 e 2.000 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente (Tabela 13).

No município de Londrina foi possível observar diferenças significativas com a variação das doses e fontes para os teores foliares de N, P, Ca, S e Cu. Especificamente em S, as médias foram aproximadas, no entanto com aumento linear do teor em folha em relação ao aumento da dose utilizadas, de forma que quando se utilizou-se de 240 kg ha<sup>-1</sup> de S-Elementar e 4.000 kg ha<sup>-1</sup> de fosfogesso e gipsita atingiu-se 2,7 g kg<sup>-1</sup>, 2,9 g kg<sup>-1</sup> e 3,0 g kg<sup>-1</sup> respectivamente (Tabela 14).

Em Luiziana, a variação nos teores de nutrientes em folhas foi menor em relação aos demais locais em estudo (Londrina e Ponta Grossa), possivelmente devido o maior teor dos nutrientes do solo (Tabelas 4 e 5). Na Tabela 14, observa-se que houve diferença significativa apenas para os teores de N e S. Nestas condições, a utilização do fosfogesso conferiu maiores teores em relação aos demais com valores médios de 2,1 g kg<sup>-1</sup> de S e de 48,8 g kg<sup>-1</sup> de N (Tabela 15).

Para os demais nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn) que não apresentaram interação significativa fontes x doses de S (Tabelas 14 e 15), os níveis foliares verificados situaram dentro dos valores esperados e considerados como adequados para o cultivo da soja, como descrito por Malavolta et al. (1997), Urano et al. (2007) e Embrapa (2020).

**Tabela 13.** Média dos teores de nutrientes nas folhas nos ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020, em função de fontes e doses de enxofre cultivada em Ponta Grossa/PR.

Fontes de S	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	N (g kg <sup>-1</sup> )	P (g kg <sup>-1</sup> )	K (g kg <sup>-1</sup> )	Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Mg (g kg <sup>-1</sup> )	S (g kg <sup>-1</sup> )	B (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )
Fosfogesso	0	39,7	7,5	43,5	11,1	4,3	1,0	35,2	13,2	176,6	63,8	49,1
	1000	53,2	8,0	45,7	20,8	4,0	1,2	36,3	13,6	214,8	66,2	50,0
	2000	52,5	8,7	43,0	18,3	4,3	1,2	34,9	12,4	180,0	67,3	50,4
	4000	52,3	8,8	43,3	15,9	4,8	1,4	35,7	11,8	155,2	58,4	43,6
	Média	49,4	8,3	43,9	16,5	4,3	1,2	35,5	12,7	181,7	63,9	48,3
<b>Teste F</b>		*	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Gipsita	0	39,7	7,5	43,5	11,1	4,3	1,0	35,2	13,2	176,6	63,8	49,1
	1000	49,5	8,3	51,6	15,7	4,2	1,3	33,0	12,3	233,2	70,5	39,1
	2000	52,3	8,8	52,1	15,9	4,2	1,5	34,8	12,8	170,8	67,5	59,7
	4000	45,7	8,2	53,6	22,4	4,1	1,4	34,1	13,8	192,0	70,8	55,3
	Média	46,8	8,2	50,2	16,3	4,2	1,3	34,3	13,0	193,2	68,2	50,8
<b>Teste F</b>		*	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
S-elementar	0	39,7	7,5	43,5	11,1	4,3	1,0	35,2	13,2	176,6	63,8	49,1
	60	46,7	8,4	44,1	14,1	3,9	1,2	36,8	11,7	178,2	57,1	46,9
	120	52,5	8,3	49,0	23,9	4,1	1,2	34,9	15,5	209,4	69,3	54,1
	240	49,4	8,3	47,9	22,7	4,1	1,5	35,1	13,9	191,0	58,0	55,4
	Média	47,1	8,1	46,1	18,0	4,1	1,2	35,5	13,6	188,8	62,1	51,4
<b>Teste F</b>		*	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
	Média	48,5	8,2	46,7	16,9	4,2	1,2	35,1	13,1	187,5	64,7	50,2

\* e <sup>ns</sup> significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro, respectivamente

**Fonte:** o próprio autor

**Tabela 14.** Média dos teores de nutrientes nas folhas nos ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020, em função de fontes e doses de enxofre cultivada em Londrina/PR.

Fontes de S	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	N (g kg <sup>-1</sup> )	P (g kg <sup>-1</sup> )	K (g kg <sup>-1</sup> )	Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Mg (g kg <sup>-1</sup> )	S (g kg <sup>-1</sup> )	B (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )
Fosfogesso	0	42,2	1,8	16,5	25,1	10,0	2,1	33,3	7,9	110,4	171,5	41,4
	1000	46,8	2,2	18,8	27,9	11,4	2,4	34,9	9,9	176,6	158,1	27,7
	2000	44,9	2,6	17,9	28,1	11,7	2,5	34,0	12,8	120,4	181,2	30,2
	4000	43,3	2,9	20,3	31,4	11,5	2,9	35,1	10,9	184,2	162,3	29,5
	Média	44,3	2,4	18,4	28,1	11,2	2,5	34,3	10,4	147,9	168,3	32,2
<b>Teste F</b>		*	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns	ns	ns
Gipsita	0	42,2	1,8	16,5	25,1	10,0	2,1	33,3	7,9	110,4	171,5	41,4
	1000	42,6	2,6	20,3	26,7	8,9	2,3	34,2	13,0	123,7	159,0	26,8
	2000	46,8	2,5	25,9	26,4	11,4	2,7	33,7	19,2	113,9	159,1	33,2
	4000	43,3	2,5	24,9	31,2	8,8	3,0	34,0	14,3	165,5	167,6	34,0
	Média	43,7	2,4	21,9	27,3	9,8	2,5	33,8	13,6	128,4	164,3	33,8
<b>Teste F</b>		*	ns	ns	*	ns	*	ns	*	ns	ns	ns
S-elementar	0	42,2	1,8	16,5	25,1	10,0	2,1	33,3	7,9	110,4	171,5	41,4
	60	43,5	2,6	19,3	26,5	7,7	2,4	33,9	17,2	121,8	162,8	38,8
	120	44,4	2,3	17,6	27,1	10,8	2,5	34,2	14,3	153,2	154,4	29,3
	240	46,9	2,2	20,2	27,3	11,4	2,7	34,5	14,3	100,1	161,9	30,0
	Média	44,3	2,2	18,4	26,5	10,0	2,4	34,0	13,4	121,4	162,6	34,9
<b>Teste F</b>		*	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns
Média	44,1	2,3	19,6	27,3	10,3	2,4	34,0	12,5	132,6	165,1	33,6	

\* e ns significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro, respectivamente

Fonte: o próprio autor

**Tabela 15.** Média dos teores de nutrientes nas folhas nos ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020, em função de fontes e doses de enxofre cultivada em Luiziana/PR.

Fontes de S	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	N (g kg <sup>-1</sup> )	P (g kg <sup>-1</sup> )	K (g kg <sup>-1</sup> )	Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Mg (g kg <sup>-1</sup> )	S (g kg <sup>-1</sup> )	B (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )
<b>Fosfogesso</b>	0	46,5	3,3	22,0	11,3	2,9	1,5	53,3	7,8	163,8	78,3	37,1
	1000	48,1	3,6	22,6	11,6	3,1	2,0	58,0	8,0	180,0	88,9	40,0
	2000	49,3	3,3	23,6	11,4	2,9	2,3	56,6	8,2	176,0	79,6	35,4
	4000	51,2	3,4	23,2	11,5	3,0	2,5	57,6	8,5	152,7	77,1	36,7
	Média	48,8	3,4	22,8	11,4	3,0	2,1	56,4	8,1	168,1	81,0	37,3
<b>Teste F</b>		*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
<b>Gipsita</b>	0	46,5	3,3	22,0	11,3	2,9	1,5	53,3	7,8	163,8	78,3	37,1
	1000	47,6	3,4	23,2	11,9	3,0	2,0	56,9	7,9	154,1	80,0	39,3
	2000	49,3	3,5	22,7	11,5	3,2	2,1	59,0	8,2	164,9	79,0	37,8
	4000	49,4	3,6	22,6	11,5	3,1	2,5	55,1	8,0	154,4	78,5	37,1
	Média	48,2	3,4	22,6	11,5	3,0	2,0	56,1	8,0	159,3	78,9	37,8
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
<b>S-elementar</b>	0	46,5	3,3	22,0	11,3	2,9	1,5	53,3	7,8	163,8	78,3	37,1
	60	48,1	3,5	23,5	11,7	3,1	1,9	56,6	8,0	161,7	79,0	36,8
	120	50,6	3,4	23,8	11,7	3,0	1,9	54,7	7,8	188,1	78,0	36,8
	240	48,1	3,7	23,3	11,6	3,1	2,1	56,7	9,9	179,7	77,6	37,0
	Média	48,3	3,5	23,2	11,6	3,0	1,9	55,3	8,4	173,3	78,2	36,9
<b>Teste F</b>		*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
	Média	48,4	3,5	22,9	11,5	3,0	2,0	55,9	8,2	166,9	79,4	37,3

\* e <sup>ns</sup> significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro, respectivamente

Fonte: o próprio autor

### 4.3 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO - MACRONUTRIENTES

Nas tabelas 16 e 17 verifica-se efeito significativo dos tratamentos sobre os níveis de  $S-SO_4^{2-}$  no solo tanto na camada de 0-10 cm como na de 10-20 cm em Ponta Grossa. Na primeira profundidade a média dos tratamentos com gipsita foi mais eficiente com média de  $6,1 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $S-SO_4^{2-}$ , seguido pelo S-elementar com  $3,2 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $S-SO_4^{2-}$  e Fosfogesso com  $2,6 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $S-SO_4^{2-}$ . Na segunda profundidade analisada, as médias foram de  $7,5 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $S-SO_4^{2-}$  (gipsita),  $3,4 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $S-SO_4^{2-}$  (S-elementar) e  $3,0 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $S-SO_4^{2-}$  (fosfogesso). Ainda, ressalta-se que houve um incremento constante e linear na concentração de  $S-SO_4^{2-}$  no solo, sendo duas vezes para a dose máxima em relação à dose intermediária para todos os tratamentos.

Em Londrina (Tabelas 18 e 19), os resultados assemelham-se aos encontrados em Ponta Grossa quanto à significância para o teor de  $S-SO_4^{2-}$  no solo nas duas profundidades analisadas. Nestas condições, na camada de 0-10 cm, o uso de gipsita conferiu  $12,5 \text{ mg kg}^{-1}$  na média, seguido por  $6,9 \text{ mg kg}^{-1}$  (Fosfogesso) e  $6,7 \text{ mg kg}^{-1}$  (S-elementar). Os teores elevados em doses maiores afirmam a resposta direta nos níveis do  $S-SO_4^{2-}$ . Na camada de 10-20 cm, o padrão de resultado seguiu o mesmo, sendo que de forma geral, com uso de Gipsita, o aumento foi na média de 52,63%. No tratamento com S-elementar na dose de  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  os resultados aproximaram-se do uso de  $2.000 \text{ kg ha}^{-1}$  de gipsita e fosfogesso (Tabelas 18 e 19).

Na área do estudo em Luiziana, os níveis de  $S-SO_4^{2-}$  foram altos já resultante dos elevados níveis iniciais decorrentes do manejo adotado na área. Mesmo assim, quando se compara os valores médios entre as três fontes utilizadas, tem-se o maior valor com uso de gipsita  $46,9 \text{ mg kg}^{-1}$ , seguido pelo fosfogesso  $45,6 \text{ mg kg}^{-1}$  e S-elementar  $42,4 \text{ mg kg}^{-1}$ . Salienta-se que com a utilização da dose média em todos os tratamentos, o resultado para o  $S-SO_4^{2-}$  no solo foi superior, atingindo  $51,0 \text{ mg kg}^{-1}$  (S-elementar),  $47,7 \text{ mg kg}^{-1}$  (fosfogesso) e  $44,7 \text{ mg kg}^{-1}$  (gipsita) (Tabelas 20 e 21).

Ressalta-se que em Londrina e Ponta Grossa, os níveis de carbono no solo foram inferiores ao encontrado em Luiziana, de tal forma que há influência direta no aumento dos níveis de  $S-SO_4^{2-}$  com a utilização do S- elementar, uma vez que a partir do carbono pode-se obter o teor de matéria orgânica do solo (MOS), fundamental para oxidação do S-elementar (VITTI; HEINRICH, 2007).

**Tabela 16.** Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm após dois ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Ponta Grossa/PR.

Fontes de S	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )	C (g kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Al <sup>3+</sup>	H+Al	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	P-rem (mg kg <sup>-1</sup> )
Fosfogesso	0	4,9	7,5	3,4	0,3	4,8	0,8	0,2	5,8	2,1	11,7	5,4
	1000	4,9	7,6	3,6	0,4	5,5	1,1	0,1	5,9	2,3	12,9	6,6
	2000	4,9	7,5	3,4	0,4	5,7	1,1	0,2	5,8	2,7	13,0	4,5
	4000	5,0	7,5	4,0	0,3	5,7	1,1	0,0	5,9	3,3	13,0	8,9
	Média	4,9	7,5	3,6	0,4	5,4	1,0	0,1	5,8	2,6	12,7	6,4
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
Gipsita	0	4,9	7,5	3,4	0,3	4,8	0,8	0,2	5,8	2,1	11,7	5,4
	1000	4,9	7,4	3,4	0,3	5,7	1,1	0,1	5,8	5,2	12,3	7,4
	2000	4,7	7,3	3,5	0,4	7,4	1,1	0,1	5,8	7,3	14,7	3,4
	4000	4,8	7,3	3,1	0,3	6,6	1,3	0,1	5,8	9,9	14,0	3,9
	Média	4,8	7,4	3,3	0,3	6,1	1,1	0,1	5,8	6,1	13,2	5,0
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
S-elementar	0	4,9	7,5	3,4	0,3	4,8	0,8	0,2	5,8	2,1	11,7	5,4
	60	4,8	7,5	3,5	0,4	5,1	1,0	0,1	5,8	2,2	12,3	9,0
	120	4,9	7,4	5,2	0,3	5,0	1,1	0,2	5,7	3,7	12,1	10,7
	240	4,8	7,4	3,3	0,4	4,6	1,0	0,1	5,8	4,9	11,8	6,5
	Média	4,8	7,5	3,9	0,1	4,9	1,0	0,2	5,8	3,2	12,0	7,9
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
	Média	4,8	7,5	3,6	0,1	5,5	1,0	0,2	5,8	4,0	12,6	6,4

\* e <sup>ns</sup> significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro, respectivamente

Fonte: o próprio autor

**Tabela 17.** Atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm após dois ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Ponta Grossa/PR.

Fontes de S	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )	C (g kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Al <sup>3+</sup>	H+Al	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	P-rem (mg kg <sup>-1</sup> )
Fosfogesso	0	5,1	7,7	2,4	0,1	4,5	0,8	0,1	5,8	2,5	11,2	3,9
	1000	4,9	7,5	2,4	0,1	4,9	1,0	0,1	5,9	2,6	11,9	4,4
	2000	4,9	7,5	2,3	0,1	5,1	1,0	0,1	5,8	2,7	12,0	3,0
	4000	5,0	7,5	2,9	0,1	5,4	1,1	0,1	5,9	4,1	12,5	8,1
	Média	4,9	7,5	2,5	0,1	5,0	1,0	0,1	5,8	3,0	11,9	4,9
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
Gipsita	0	5,1	7,7	2,4	0,1	4,5	0,8	0,1	5,8	2,5	11,2	3,9
	1000	4,8	7,5	2,2	0,1	5,3	1,0	0,1	5,8	5,2	12,2	4,7
	2000	4,8	7,3	2,4	0,1	5,4	1,0	0,1	5,9	7,0	12,4	2,8
	4000	4,8	7,6	1,9	0,1	5,8	1,1	0,1	5,8	15,3	12,8	2,4
	Média	4,9	7,5	2,2	0,1	5,3	1,0	0,1	5,8	7,5	12,2	3,5
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
S-elementar	0	5,1	7,7	2,4	0,1	4,5	0,8	0,1	5,8	2,5	11,2	3,9
	60	4,9	7,8	2,9	0,1	5,0	1,0	0,1	5,9	2,1	12,0	7,4
	120	4,8	7,6	3,0	0,1	5,1	1,0	0,2	5,7	3,6	11,9	6,2
	240	4,9	7,5	4,0	0,1	4,8	1,1	0,0	6,0	5,2	12,0	7,8
	Média	4,9	7,7	3,1	0,1	4,9	1,0	0,1	5,8	3,4	11,8	6,3
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
Média	4,9	7,6	2,6	0,1	5,1	1,0	0,1	5,8	4,6	12,0	4,9	

\* e ns significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro, respectivamente

Fonte: o próprio autor

**Tabela 18.** Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm após dois ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Londrina/PR.

Fontes de S	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )	C (g kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	A <sup>3+</sup>	H+Al	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	P-rem (mg kg <sup>-1</sup> )
Fosfogesso	0	4,8	8,7	4,7	0,4	6,7	0,9	0,1	5,9	4,2	13,9	7,5
	1000	4,8	8,6	4,6	0,4	7,1	1,3	0,2	5,9	6,8	14,7	8,4
	2000	4,7	8,4	5,2	0,4	7,6	1,4	0,2	5,8	7,7	15,2	6,9
	4000	5,0	8,5	4,3	0,4	8,2	1,6	0,1	6,0	9,1	16,2	11,8
	Média	4,8	8,5	4,7	0,4	7,4	1,3	0,1	5,9	6,9	15,0	8,7
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns
Gipsita	0	4,8	8,7	4,7	0,4	6,7	0,9	0,1	5,9	4,2	13,9	7,5
	1000	4,8	8,4	4,8	0,4	7,5	1,1	0,2	5,9	9,0	14,9	10,4
	2000	4,8	8,7	4,1	0,3	8,4	1,4	0,2	5,9	11,4	16,0	4,0
	4000	4,9	8,7	5,5	0,4	9,0	1,6	0,2	5,8	25,6	16,7	6,9
	Média	4,8	8,6	4,8	0,1	7,9	1,3	0,2	5,9	12,5	15,3	7,2
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns
S-elementar	0	4,8	8,7	4,7	0,4	6,7	0,9	0,1	5,9	4,2	13,9	7,5
	60	4,8	8,6	4,7	0,4	7,3	1,4	0,2	5,9	5,4	15,0	12,1
	120	4,7	8,7	5,0	0,4	7,4	1,0	0,2	5,8	6,4	14,6	10,3
	240	4,7	8,7	4,4	0,3	6,3	1,0	0,2	5,9	10,7	13,5	8,6
	Média	4,7	8,6	4,7	0,4	6,9	1,1	0,2	5,8	6,7	14,3	9,6
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
Média	4,8	8,6	4,7	0,4	7,4	1,2	0,2	5,9	8,7	14,9	8,5	

\* e ns significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro, respectivamente

Fonte: o próprio autor

**Tabela 19.** Atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm após dois ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Londrina/PR.

Fontes de S	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )	C (g kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Al <sup>3+</sup>	H+Al	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	P-rem (mg kg <sup>-1</sup> )
Fosfogesso	0	4,8	8,7	2,1	0,1	6,6	1,1	0,2	5,9	3,5	13,7	3,4
	1000	4,8	8,7	2,0	0,1	7,0	1,2	0,1	5,9	5,9	14,2	3,7
	2000	4,8	8,5	3,4	0,1	7,1	1,4	0,2	5,8	8,8	14,4	4,5
	4000	4,7	8,7	1,8	0,1	7,6	1,5	0,2	5,8	7,0	15,0	5,0
	Média	5,0	8,5	2,3	0,1	7,1	1,3	0,1	6,0	6,3	14,3	4,2
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
Gipsita	0	4,8	8,6	2,1	0,1	6,6	1,1	0,2	5,9	3,5	13,7	3,4
	1000	4,8	8,7	1,9	0,1	8,8	1,2	0,1	5,9	9,4	16,0	4,1
	2000	4,8	8,8	2,1	0,1	7,1	1,4	0,2	5,9	13,3	14,5	2,1
	4000	4,8	8,6	1,9	0,1	8,5	1,6	0,2	5,9	27,2	16,1	2,4
	Média	4,8	8,9	2,0	0,1	7,8	1,3	0,3	5,9	13,3	15,1	3,0
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
S-elementar	0	4,8	8,7	2,1	0,1	6,6	1,1	0,2	5,9	3,5	13,7	3,4
	60	4,8	8,7	1,6	0,1	7,1	1,4	0,1	5,9	4,7	14,5	4,1
	120	4,8	8,6	1,9	0,1	7,6	1,1	0,2	5,9	6,0	14,7	3,9
	240	4,7	8,8	1,9	0,1	5,5	1,4	0,2	5,9	11,0	12,9	3,7
	Média	4,7	8,6	1,9	0,1	6,7	1,2	0,2	5,9	6,3	14,0	3,8
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
Média	4,8	8,7	1,1	0,1	7,2	1,3	0,2	5,9	8,6	14,5	3,7	

\* e ns significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro, respectivamente

Fonte: o próprio autor

**Tabela 20.** Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm após dois ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Luiziana/PR.

Fontes de S	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )	C (g kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Al <sup>3+</sup>	H+Al	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	P-rem (mg kg <sup>-1</sup> )
Fosfogesso	0	5,3	21,9	6,5	0,7	4,9	1,1	0,0	5,3	18,3	12,3	10,4
	1000	5,2	21,1	5,9	0,6	6,0	1,1	0,0	5,3	30,0	12,9	10,8
	2000	5,1	21,4	8,4	0,7	6,3	1,4	0,0	5,6	47,7	14,0	11,1
	4000	4,9	21,7	4,1	0,5	6,6	1,3	0,1	6,3	86,4	14,5	11,3
	Média	5,1	21,5	6,2	0,6	6,0	1,2	0,0	5,6	45,6	13,4	10,9
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns
Gipsita	0	5,3	21,9	6,5	0,7	4,9	1,1	0,0	5,3	18,3	12,3	10,4
	1000	5,1	22,4	4,5	0,6	5,2	1,2	0,0	5,5	24,3	12,2	9,8
	2000	5,0	20,5	10,4	0,6	5,6	1,3	0,0	5,9	44,7	13,4	10,2
	4000	5,0	19,7	8,8	0,6	6,4	1,2	0,1	5,7	100,2	13,9	11,1
	Média	5,1	21,1	7,5	0,6	5,5	1,2	0,0	5,6	46,9	13,0	10,4
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns
S-elementar	0	5,3	21,9	6,5	0,7	5,2	1,1	0,0	5,3	18,3	12,3	10,4
	60	5,2	23,3	4,2	0,5	5,1	1,3	0,0	5,4	28,6	12,3	10,8
	120	5,0	21,1	5,3	0,6	6,4	1,3	0,1	5,9	51,0	14,2	10,9
	240	5,1	20,9	5,7	0,7	6,6	1,2	0,0	5,6	71,5	14,1	11,1
	Média	5,1	21,8	5,4	0,6	5,8	1,2	0,0	5,6	42,4	13,2	10,8
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
	Média	5,1	21,5	6,4	0,6	5,8	1,2	0,0	5,6	45,0	13,2	10,7

\* e ns significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro, respectivamente

Fonte: o próprio autor

**Tabela 21.** Atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm após dois ciclos de cultivo da soja 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Luiziana/PR.

Fontes de S	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )	C (g kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Al <sup>3+</sup>	H+Al	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	P-rem (mg kg <sup>-1</sup> )
Fosfogesso	0	5,0	19,7	3,4	0,5	4,6	1,0	0,1	6,0	27,1	12,1	8,1
	1000	5,6	27,2	4,7	0,6	4,8	1,1	0,0	4,8	35,8	11,3	13,8
	2000	5,2	22,9	6,9	0,7	6,2	1,3	0,0	5,4	43,5	13,5	15,9
	4000	4,9	19,4	7,9	0,5	9,8	1,6	0,1	5,4	44,4	17,3	10,3
	Média	5,2	22,3	5,7	0,6	6,4	1,3	0,1	5,4	37,7	13,6	12,0
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns
Gipsita	0	5,0	19,7	3,4	0,5	4,6	1,0	0,1	6,0	27,1	12,1	8,1
	1000	4,9	18,4	5,2	0,6	5,1	1,1	0,1	5,8	63,7	12,6	10,8
	2000	5,2	22,0	5,2	0,7	5,2	1,2	0,0	5,4	71,1	12,5	13,5
	4000	5,1	21,4	7,8	0,7	5,9	1,3	0,0	5,6	86,8	13,5	10,7
	Média	5,1	20,4	5,4	0,6	5,2	1,2	0,1	5,7	62,2	12,7	10,8
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
S-elementar	0	5,0	19,7	3,4	0,5	4,6	1,0	0,1	6,0	27,1	12,1	8,1
	60	5,0	20,4	7,8	0,7	5,2	1,1	0,0	6,2	49,3	13,2	12,2
	120	4,9	19,6	4,2	0,5	6,0	1,1	0,1	6,1	63,7	13,7	13,4
	240	5,0	24,3	4,5	0,4	6,7	1,3	0,1	5,5	70,2	13,9	11,0
	Média	5,0	21,0	5,0	0,5	5,6	1,2	0,1	6,0	52,6	13,2	11,2
<b>Teste F</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
Média	5,1	21,2	5,4	0,6	5,7	1,3	0,1	5,7	51,2	13,4	11,3	

\* e ns significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro, respectivamente

Fonte: o próprio autor

#### 4.4 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO - MICRONUTRIENTES

Quanto aos teores dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn (Tabelas 22 a 27), não foram identificadas diferenças significativas entre os tratamentos e independentemente dos três locais, fontes e doses os teores situaram dentro da faixa indicada como adequado (MALAVOLTA et al., 1997). Esse resultado corrobora os resultados de Provenzano et al. (2020), que ao estudar também a eficiência de fontes e doses de S no cultivo da soja em condições de casa de vegetação, também não verificaram efeito dos tratamentos sobre os teores dos micronutrientes na planta. Apesar da ausência de efeito, cabe destacar que Moreira et al. (1997) verificaram respostas positivas do S sobre os teores dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn.

**Tabela 22.** Teores dos micronutrientes no solo na camada de 0-10 cm após dois ciclos de cultivo da soja em função de fontes e doses de enxofre em Londrina, Estado do Paraná.

Fontes	Doses de S (kg ha <sup>-1</sup> )	B (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )
Fosfogesso	0	0,3	23,4	54,9	134,9	5,2
	1000	0,3	24,9	54,7	145,9	4,9
	2000	0,4	23,8	58,4	141,8	4,4
	4000	0,3	24,0	54,9	146,4	5,5
	Média	0,3	24,0	55,7	142,2	5,0
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
Gipsita	0	0,3	23,4	54,9	134,9	5,2
	1000	0,4	25,4	58,2	149,0	5,2
	2000	0,4	26,1	53,9	145,6	7,0
	4000	0,3	25,0	63,3	137,6	4,9
	Média	0,4	25,0	57,6	141,8	5,5
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
S-elementar	0	0,3	23,4	54,9	134,9	5,2
	60	0,3	23,9	47,9	137,5	6,0
	120	0,4	24,1	48,8	133,6	5,8
	240	0,4	24,2	63,7	142,2	5,2
	Média	0,4	23,9	53,8	137,1	5,5
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
	Média	0,4	24,3	55,7	140,4	5,3

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade de erro

**Fonte:** o próprio autor

**Tabela 23.** Teores dos micronutrientes no solo na camada de 10-20 cm após dois ciclos de cultivo da soja em função de fontes e doses de enxofre em Londrina, Estado do Paraná.

Fontes	Doses de S (kg ha <sup>-1</sup> )	B (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )
Fosfogesso	0	0,2	23,5	56,1	137,9	5,3
	1000	0,3	24,1	58,4	140,1	4,4
	2000	0,3	23,5	62,8	139,0	4,1
	4000	0,3	25,0	57,9	147,8	5,6
	Média	0,3	24,0	58,8	141,2	4,8
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
Gipsita	0	0,2	23,5	56,1	137,9	5,3
	1000	0,4	25,6	58,6	147,1	4,9
	2000	0,3	25,7	55,6	147,2	6,7
	4000	0,3	24,6	59,6	131,0	4,2
	Média	0,3	24,9	57,5	140,8	5,3
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
S-elementar	0	0,2	23,5	56,1	137,9	5,3
	60	0,3	24,9	49,1	146,5	6,5
	120	0,3	24,9	51,3	144,2	6,5
	240	0,3	24,5	64,7	145,5	4,9
	Média	0,3	24,5	55,3	143,5	5,8
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
	Média	0,3	24,5	57,2	141,8	5,3

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade de erro

**Fonte:** o próprio autor

**Tabela 24.** Teores dos micronutrientes no solo na camada de 0-10 cm após dois ciclos de cultivo da soja em função de fontes e doses de enxofre em Ponta Grossa, Estado do Paraná.

Fontes	Doses de S (kg ha <sup>-1</sup> )	B (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )
Fosfogesso	0	0,3	1,4	64,2	34,3	2,6
	1000	0,3	0,9	64,9	29,9	1,1
	2000	0,3	1,4	65,8	28,6	2,2
	4000	0,4	1,1	57,7	32,9	2,9
	Média	0,3	1,2	63,2	31,4	2,2
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
Gipsita	0	0,3	1,4	64,2	34,3	2,6
	1000	0,4	1,0	67,2	26,0	2,1
	2000	0,3	1,1	57,7	30,7	1,7
	4000	0,5	1,3	60,6	30,0	1,8
	Média	0,4	1,2	62,4	30,3	2,1
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
S-elementar	0	0,3	1,4	64,2	34,3	2,6
	60	0,3	1,1	62,2	32,6	2,0
	120	0,4	1,6	56,7	28,4	2,4
	240	0,4	1,6	64,0	29,1	2,4
	Média	0,4	1,4	61,8	31,1	2,4
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
	Média	0,4	1,3	62,5	30,9	2,2

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade de erro

**Fonte:** o próprio autor

**Tabela 25.** Teores dos micronutrientes no solo na camada de 10-20 cm após dois ciclos de cultivo da soja em função de fontes e doses de enxofre em Ponta Grossa, Estado do Paraná.

Fontes	Doses de S (kg ha <sup>-1</sup> )	B (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )
Fosfogesso	0	0,3	1,4	66,7	30,0	1,5
	1000	0,3	1,1	70,8	25,3	1,0
	2000	0,3	1,3	71,5	23,4	1,2
	4000	0,2	1,2	70,7	24,7	1,6
	Média	0,3	1,2	70,0	25,9	1,3
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
Gipsita	0	0,3	1,4	66,7	30,0	1,5
	1000	0,3	1,2	66,8	23,7	1,6
	2000	0,4	1,3	66,3	25,7	1,2
	4000	0,3	1,5	68,5	23,8	1,1
	Média	0,3	1,3	67,1	25,8	1,3
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
S-elementar	0	0,3	1,4	66,7	30,0	1,5
	60	0,3	1,2	72,4	27,4	0,7
	120	0,3	1,5	67,2	24,9	1,6
	240	0,3	1,5	65,8	26,8	1,1
	Média	0,3	1,4	68,0	27,3	1,2
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
	Média	0,3	1,3	68,4	26,3	1,3

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade de erro

**Fonte:** o próprio autor

**Tabela 26.** Teores dos micronutrientes no solo na camada de 0-10 cm após dois ciclos de cultivo da soja em função de fontes e doses de enxofre em Luziânia, Estado do Paraná.

Fontes	Doses de S (kg ha <sup>-1</sup> )	B (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )
Fosfogesso	0	0,3	7,3	34,3	111,7	5,1
	1000	0,3	7,1	32,1	128,4	5,5
	2000	0,2	8,2	33,5	123,3	5,9
	4000	0,2	8,3	34,7	120,5	4,8
	Média	0,2	7,7	33,6	121,0	5,3
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
Gipsita	0	0,3	7,3	34,3	111,7	5,1
	1000	0,3	7,8	32,0	111,8	5,5
	2000	0,3	8,8	33,8	105,5	5,1
	4000	0,3	9,0	35,7	108,1	4,3
	Média	0,3	8,2	33,9	109,3	5,0
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
S-elementar	0	0,3	7,3	34,3	111,7	5,1
	60	0,3	6,4	31,6	121,5	6,9
	120	0,3	8,5	34,4	111,3	5,1
	240	0,3	8,9	34,1	126,8	5,2
	Média	0,3	7,8	33,6	117,8	5,6
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
	Média	0,3	7,9	33,7	116,0	5,3

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade de erro

**Fonte:** o próprio autor

**Tabela 27.** Teores dos micronutrientes no solo na camada de 10-20 cm após dois ciclos de cultivo da soja em função de fontes e doses de enxofre em Luziânia, Estado do Paraná.

Fontes	Doses de S (kg ha <sup>-1</sup> )	B (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )
Fosfogesso	0	0,2	8,9	38,3	96,7	4,5
	1000	0,3	9,1	37,2	104,3	3,6
	2000	0,3	9,6	40,7	108,9	4,6
	4000	0,2	9,7	39,1	99,9	3,4
	Média	0,2	9,4	38,8	102,4	4,0
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
Gipsita	0	0,2	8,9	38,3	96,7	4,5
	1000	0,2	10,5	37,7	95,4	3,5
	2000	0,3	10,6	36,4	86,8	3,8
	4000	0,3	10,4	38,2	101,2	3,6
	Média	0,3	10,1	37,6	95,0	3,8
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
S-elementar	0	0,2	8,9	38,3	96,7	4,5
	60	0,3	8,0	31,9	101,3	5,6
	120	0,2	10,0	39,8	95,4	3,6
	240	0,3	10,0	37,9	93,8	3,6
	Média	0,2	9,2	37,0	96,8	4,3
Teste F		ns	ns	ns	ns	ns
	Média	0,2	9,6	37,8	98,1	4,1

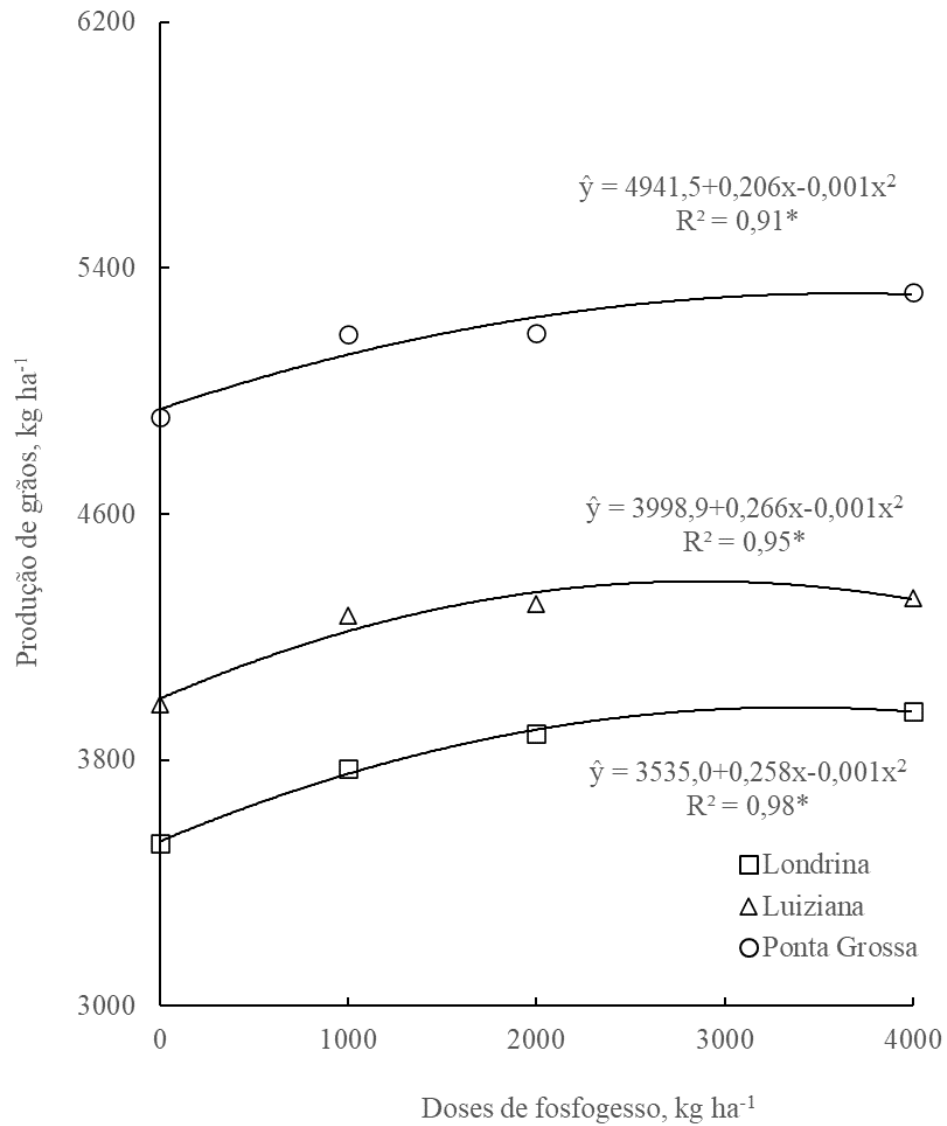
<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade de erro

**Fonte:** o próprio autor

#### 4.5 PRODUÇÃO DE GRÃOS

As produtividades médias de grãos da cultura da soja nas duas safras 2018-2019 e 2019-2020 podem ser observadas nas figuras 6, 7 e 8. Quando se utilizou o fosfogesso, todas as observações demonstram um comportamento linear positivo. As maiores produtividades atingidas foram com a dose máxima de 4.000 kg ha<sup>-1</sup>, com 66,0 sc ha<sup>-1</sup> (saca 60 kg) em Londrina, 88,7 sc ha<sup>-1</sup> em Ponta Grossa e 72,1 sc ha<sup>-1</sup> em Luiziana (Figura 6). Este efeito positivo da aplicação de S também foi reportado por Sfredo e Moreira (2015) nas condições edafoclimáticas de Londrina e Ponta Grossa, nos quais verificaram que as maiores produções foram obtidas com aplicação de 49,9 e 63,0 kg ha<sup>-1</sup> de S.

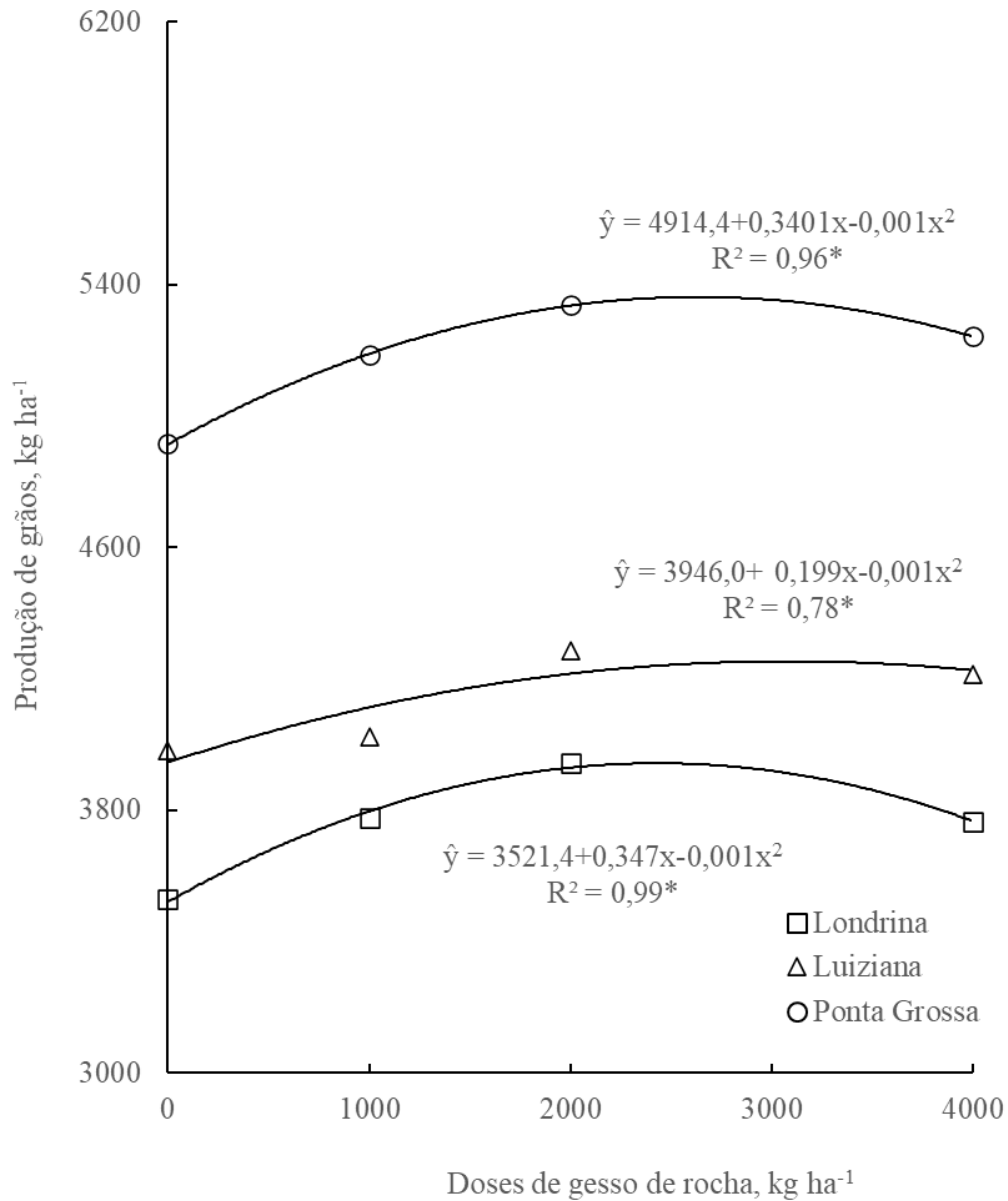
**Figura 6.** Produtividade média de grãos de soja nos dois anos de cultivo em três condições edafoclimáticas em repostas as doses de Fosfogeno.



\*significativo a 5% de probabilidade de erro

Fonte: o próprio autor

**Figura 7.** Produtividade média de grãos de soja nos dois anos de cultivo em três condições edafoclimáticas em repostas as doses de gesso de rocha (Gipsita).



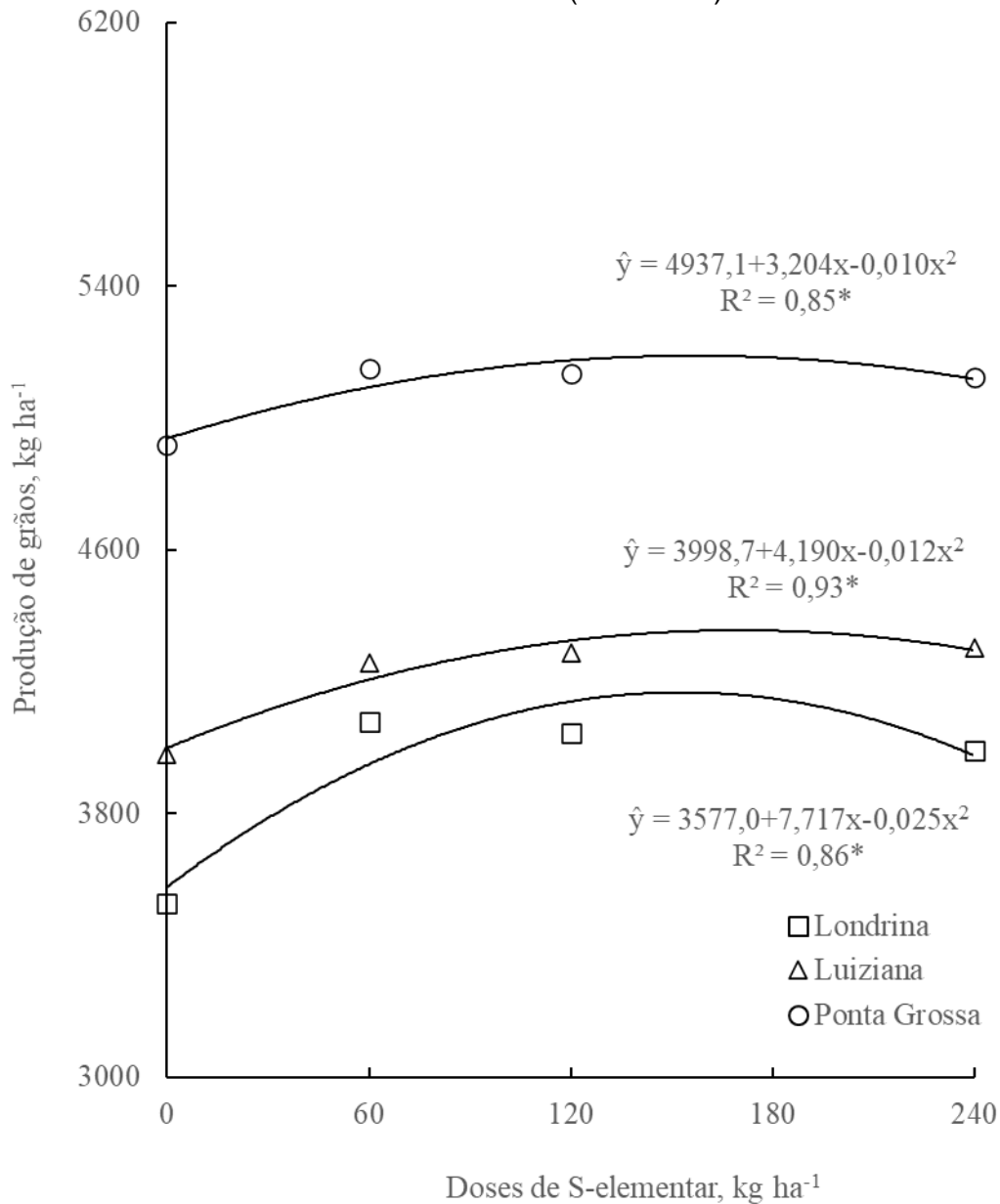
\*significativo a 5% de probabilidade de erro

Fonte: o próprio autor

Diferente do comportamento do fosfogesso, quando se utilizou a fonte gipsita, observou-se um comportamento quadrático, em que houve um ponto de máxima produção estimada, este com a dose próxima a 2.000 kg ha<sup>-1</sup>. Após esta quantidade a produtividade começou decrescer em todos os locais de estudo. A maior produtividade com este tratamento em Londrina foi de 65,8 sc ha<sup>-1</sup>, 89 sc ha<sup>-1</sup> em Ponta Grossa e 71,4 sc ha<sup>-1</sup> em Luiziana (Figura 7). Moreira et al. (2020) avaliando

três fontes de Gipsita verificaram grande potencial de uso desta fonte como fonte de S, sendo sua limitação restrita ao custo de utilização.

**Figura 8.** Produtividade média de grãos de soja nos dois anos de cultivo em três condições edafoclimáticas em repostas as doses as doses de S-elementar (90% de S).



\*significativo a 5% de probabilidade de erro

Fonte: o próprio autor

Com a utilização do S-elementar (Figura 8), as produtividades também apresentaram comportamento quadrático, onde as maiores produtividades foram obtidas nas doses de 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup>. No município de Londrina, o tratamento

que conferiu maior incremento de produtividade, sendo 15,6% superior ao controle, foi na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup>, atingindo a produtividade de 68,0 sc ha<sup>-1</sup>. O S-elementar se mostrou uma fonte interessante para minimizar o custo, visto sua resposta positiva, como reportado por Fageria et al. (2014) e Sfredo e Moreira (2015).

#### 4.6 ANÁLISE ECONÔMICA

Além dos fatores produtivos avaliados, é relevante verificar a análise econômica do uso eficiente dos tratamentos. Para realização dos cálculos, tem-se o valor médio recebido pelo produtor rural da saca (60 kg) de soja em dólar no mês de janeiro 2021 de US\$ 28,16 (DERAL, 2021), sendo o preço médio do dólar no mesmo mês de R\$ 5,3556 (IPEA, 2021). A cotação em dólar das fontes utilizadas foi realizada no mês de janeiro de 2021 e considera o frete já incluso para cada localidade (Tabela 28).

**Tabela 28.** Cotação em dólar das fontes utilizadas para o estado do Paraná em janeiro 2021.

Fonte de S	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Londrina/PR US\$/ha	Luiziana/PR US\$/ha	Ponta Grossa/PR US\$/ha
<b>Fosfogesso</b>	0	0	0	0
	1000	36,41	36,41	28,01
	2000	72,82	72,82	56,02
	4000	145,64	145,64	112,03
<b>Gipsita</b>	0	0	0	0
	1000	91,03	91,03	91,03
	2000	182,05	182,05	182,05
	4000	364,10	364,10	364,10
<b>S-elementar</b>	0	0	0	0
	60	29,13	29,13	29,13
	120	58,26	58,26	58,26
	240	116,51	116,51	116,51

Obs<sup>1</sup>: Frete incluso - Raio de entrega no município até 20 km

Obs<sup>2</sup>: Cotação das fontes em jan/21

Obs<sup>4</sup>: Preço médio do Dólar em jan/21 R\$5,3556 (IPEA, 2021)

**Fonte:** o próprio autor

Nas tabelas 29, 30 e 31 é possível observar os custos dos tratamentos (referente aos insumos – fontes de S) em sc ha<sup>-1</sup>, a produtividade média em cada fonte e dose de S utilizada, os ganhos de produtividade médios em relação sc ha<sup>-1</sup>,

saldo (sc ha<sup>-1</sup>) e saldo em dólar (US\$) por hectare<sup>1</sup> para os municípios de Londrina, Luiziana e Ponta Grossa.

Em Londrina, com a utilização do S-elementar, nota-se que houve o maior incremento na produtividade média de 9,2 sc ha<sup>-1</sup> na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup>, 8,6 sc ha<sup>-1</sup> na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> e 7,7 sc ha<sup>-1</sup> na dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> em relação ao controle. Quando comparado com os melhores resultados dos demais tratamentos o maior ganho da fonte de S-elementar representou 24,3% em relação ao uso de gipsita e 21,85% em relação ao fosfogesso (Tabela 29).

O saldo financeiro (Tabela 29) foi positivo com a utilização do S-elementar na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> e representou US\$ 242,97 ha<sup>-1</sup>, sendo maior em 57,1% a gipsita na dose de 2.000 kg ha<sup>-1</sup> e 47,1% em relação ao fosfogesso na dose de 4.000 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 29.** Produtividade média e rentabilidade na cultura da soja após dois ciclos de cultivo 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Londrina/PR.

Fontes de S	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )	Ganho de Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )	Custo Tratamento (sc ha <sup>-1</sup> )	Saldo (sc ha <sup>-1</sup> )	Saldo (\$ ha <sup>-1</sup> )
<b>Fosfogesso</b>	0	58,8	0,0	0,0	0,0	0,00
	1000	62,9	4,0	0,7	3,4	95,54
	2000	64,8	6,0	1,3	4,7	131,06
	4000	66,0	7,2	2,6	4,6	128,58
<b>Gipsita</b>	0	58,8	0,0	0,0	0,0	0,00
	1000	63,0	4,1	1,6	2,5	71,16
	2000	66,0	6,9	3,2	3,7	104,15
	4000	63,0	3,9	6,5	-2,5	-71,22
<b>S-elementar</b>	0	59,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	60	68,0	9,2	0,5	8,6	242,97
	120	67,4	8,6	1,0	7,5	212,27
	240	66,5	7,7	2,1	5,6	158,78

Obs<sup>1</sup>: Frete incluso - Raio de entrega no município até 20 km

Obs<sup>2</sup>: Cotação das fontes em janeiro/21

Obs<sup>3</sup>: Preço médio em dólar da saca de 60 kg de Soja em jan/21 \$ 28,16 - (Deral, 2021)

Obs<sup>4</sup>: Preço médio do Dólar em jan/21 R\$5,3556 (IPEA, 2021)

**Fonte:** o próprio autor

Os ganhos de produtividade após aplicação dos tratamentos são evidentes em todos os locais do trabalho, no entanto os efeitos em Luiziana e Ponta Grossa, representativamente foram menores em relação aos observados em

Londrina. Na Tabela 30, observa-se que as fontes que expressaram maiores ganhos foram: Fosfogesso, atingindo até 6,8 sc ha<sup>-1</sup> na dose de 4.000 kg ha<sup>-1</sup> e gipsita 7,1 sc ha<sup>-1</sup> na dose de 2.000 kg ha<sup>-1</sup>. Nesta situação, os ganhos de produtividade não representam necessariamente maior lucratividade, pois com a utilização da fonte de gipsita, por ter valor maior em decorrência de estar mais distante das jazidas, o lucro foi menor, fato esse que pode ser revertido no cultivo da soja na região nordeste do País.

O uso de S-elementar neste local, conferiu aumento de até 3,87 sc ha<sup>-1</sup> e saldo positivo de \$94,32 ha<sup>-1</sup>. Cabe lembrar, que operacionalmente por utilizar menores quantidades na aplicação, há de se considerar o custo operacional que deverá ser menor com esta fonte.

**Tabela 30.** Produtividade média e rentabilidade na cultura da soja após dois ciclos de cultivo 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Ponta Grossa/PR.

Fontes de S	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )	Ganho de Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )	Custo Tratamento (sc ha <sup>-1</sup> )	Saldo (sc ha <sup>-1</sup> )	Saldo (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Saldo (\$ ha <sup>-1</sup> )
<b>Fosfogesso</b>	0	81,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1000	86,44	4,50	0,50	4,01	604,28	112,83
	2000	86,50	4,56	0,99	3,56	537,55	100,37
	4000	88,71	6,78	1,99	4,79	721,64	134,74
<b>Gipsita</b>	0	81,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1000	86,42	4,48	1,62	2,87	432,26	80,71
	2000	89,00	7,06	3,23	3,83	577,77	107,88
	4000	87,36	5,43	6,47	-1,04	-156,92	-29,30
<b>S-elementar</b>	0	81,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	60	85,80	3,87	0,52	3,35	505,15	94,32
	120	85,54	3,61	1,03	2,57	387,69	72,39
	240	85,40	3,47	2,07	1,40	210,66	39,33

Obs<sup>1</sup>: Frete incluso - Raio de entrega no município até 20 km

Obs<sup>2</sup>: Cotação das fontes em janeiro/21

Obs<sup>3</sup>: Preço médio em dólar da saca de 60 kg de Soja em jan/21 \$ 28,16 - (Deral, 2021)

Obs<sup>4</sup>: Preço médio do Dólar em jan/21 R\$5,3556 (IPEA, 2021)

**Fonte:** o próprio autor

**Tabela 31.** Produtividade média e rentabilidade na cultura da soja após dois ciclos de cultivo 2018/2019 e 2019/2020 em função de fontes e doses de enxofre em Luiziana/PR.

Fontes de S	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )	Ganho de Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )	Custo Tratamento (sc ha <sup>-1</sup> )	Saldo (sc ha <sup>-1</sup> )	Saldo (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Saldo (\$ ha <sup>-1</sup> )
<b>Fosfogesso</b>	0	66,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1000	71,14	4,81	0,65	4,16	627,33	117,13
	2000	71,80	5,47	1,29	4,17	629,19	117,48
	4000	72,13	5,80	2,59	3,21	483,96	90,37
<b>Gipsita</b>	0	66,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1000	67,04	0,70	1,62	-0,91	-137,54	-25,68
	2000	71,40	5,07	3,23	1,83	276,44	51,62
	4000	70,25	3,91	6,47	-2,55	-385,25	-71,93
<b>S-elementar</b>	0	66,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	60	70,92	4,58	0,52	4,07	613,14	114,49
	120	71,45	5,12	1,03	4,08	615,49	114,93
	240	71,69	5,35	2,07	3,29	495,37	92,50

Obs<sup>1</sup>: Frete incluso - Raio de entrega no município até 20 km

Obs<sup>2</sup>: Cotação das fontes em janeiro/21

Obs<sup>3</sup>: Preço médio em dólar da saca de 60 kg de Soja em jan/21 \$ 28,16 - (Deral, 2021)

Obs<sup>4</sup>: Preço médio do dólar em jan/21 R\$5,3556 (IPEA, 2021)

**Fonte:** o próprio autor

Na Tabela 31, tem-se para o município de Luiziana, uma eficiência positiva com o uso das fontes, porém o uso de gipsita nesta ocasião mesmo com ganhos de produtividade, há prejuízo financeiro devido ao custo da aplicação ser maior do que o retorno obtido com o aumento de produtividade. Os ganhos do uso de S-elementar ficaram próximos ao de fosfogesso, com até 5,4 sc ha<sup>-1</sup> e 5,8 sc ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

## 5 CONCLUSÕES

Em solos com elevado teor de argila, a utilização de fontes como S-elementar mostrou ser uma alternativa adequada de uso em relação as tradicionais fontes de S, como fosfogesso e gipsita.

Mesmo em solos com níveis elevados de S disponível, a aplicação do nutriente, independentemente da fonte utilizada, proporcionou incremento significativo na produção de grãos de soja.

Nos locais em que os níveis de  $S-SO_4^{2-}$  nos solos eram inicialmente altas, a utilização do S-elementar também contribuiu para o aumento da produtividade e lucratividade do cultivo, sem que houvesse prejuízos secundários provocados pela utilização dessa fonte, como o pH e mesmo nos locais onde os componentes de produção não obtiveram efeito significativo pela fertilização sulfatada, houve aumento direto nos níveis de  $S-SO_4^{2-}$  no solo ao longo do tempo.

Por fim, com relação a análise econômica, a viabilidade de uso de fosfogesso e gipsita está diretamente relacionado ao preço do frete e o custo de produção da soja.

## REFERÊNCIAS

AGROTÉCNICO. **Gesso Agrícola – Usos e Características**. Disponível em: <<https://www.agrotecnico.com.br/o-gesso-agricola/#:~:text=E%20o%20gesso%20agr%C3%ADcola%20n%C3%A3o,%C3%A9%20considerado%20um%20consumo%20baixo.>> Acesso em: 20/07/2020.

ALLISON, F.E. **Soil organic matter and its role in crop production**. Amsterdam, Elsevier, 1973. p. 215-345.

ALVAREZ VENEGAS V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. **Enxofre**. Fertilidade do Solo. Viçosa, 2007. Cap.10, p.595 – 635

APROBIO. Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil. **Soja é a matéria-prima de 82% do biodiesel produzido no Brasil**. 2015. Disponível em:<<http://aprobio.com.br/2015/11/24/soja-e-a-materia-prima-de-82-do-biodiesel-produzido-no-brasil/>>. Acesso em: 10/05/2020

BISSANI, C.A.; TEDESCO, M.J. **O enxofre no solo**. In: SIMPÓSIO ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1988, Londrina, PR. **Anais...** Londrina: EMBRAPA.CNPSo: IAPAR: SBCS, 1988. p. 11- 29. Realizado durante a XVII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo.

BRAHIM, S.; NIESS, A.; PFLIPSEN, M.; NEUHOFF, D.; SCHERER, H. Effect of combined fertilization with rock phosphate and elemental sulphur on yield and nutrient uptake of soybean. **Plant, Soil and Environment**, v. 63, p. 89-95, 2017.

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

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de Grãos – V.7 – Safra 2019/20 – N.10 – Décimo levantamento**. 2020.

DERAL. Departamento de Economia Rural. **Produção Agropecuária**. Secretaria do Estado e do Abastecimento do Paraná. 2020. Disponível em: < d>. Acesso em 09/08/20.

DERAL. Departamento de Economia Rural. **Preços**. Secretaria do Estado e do Abastecimento do Paraná. 2021. Disponível em: < <http://www.agricultura.pr.gov.br/deral/precos>>. Acesso em 01/02/21.

DEGRYSE, F.; AJIBOYE, B.; BAIRD, R.; SILVA, R. C.; MCLAUGHLIN, M. J. Oxidation of elemental sulfur in granular fertilizers depends on the soil-exposed surface area. **Soil Science Society of America Journal**, v. 80, p.294–305, 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual of soil analysis methods**. 2nd ed. National Soil Research Center: Rio de Janeiro, Brazil, 1997.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **ENXOFRE – Nutriente necessário para maiores rendimentos da soja**. Circular técnica 53. Londrina, 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18528/1/circtec53.pdf>. Acesso em: 15/06/2020

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Uso do Gesso Agrícola nos Solos do Cerrado**. Circular técnica 32. Planaltina, 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/568533/1/cirtec32.pdf>. Acesso em: 15/08/2020

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de produção – TRIGO**. 2014. Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 18/05/20.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de produção – Tecnologias de produção de soja**. 2020. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/216580/1/SP-17-2020-online.pdf>>. Acesso em: 20/01/21.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivos – SOJA**. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>>. Acesso em: 10 abril 2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 353p, 2013.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A; MORAES, L. A. C.; MORAES, M. F. Influence of lime and gypsum on yield and yield components of soybean and changes in soil chemical properties. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, p. 71–83, 2014.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistic Data. **Production – Crops**. 2020a. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Acesso em: 09 de agosto de 2020.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistic Data. **Trade – Crops and livestock products**. 2020b. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>> Acesso em: 09 de agosto de 2020.

FEHR, W.R., CAVINESS, C.E., BURMOOD, D.T., PENNINGTON, J.S.: Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, v. 11, p. 929-931, 1971.

FOLONI, J. S. **A importância do trigo em Sistemas de Produção no Paraná**. Via Webinar. < [https://www.sympla.com.br/webinar-importancia-do-trigo-em-sistemas-de-producao-do-parana\\_\\_838037](https://www.sympla.com.br/webinar-importancia-do-trigo-em-sistemas-de-producao-do-parana__838037)>. (Acesso em 23/04/2020)

FONTOURA, J. U. G. **Matéria seca, absorção e exportação pelos grãos, de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn pelo trigo, sob regime de sequeiro e irrigado em latossolo roxo**. 1986. 125 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

FRITSCHI, F. N. AND RAY, J. D. Soybean Leaf Nitrogen, Chlorophyll Content, and Chlorophyll a/b Ratio. **Photosynthetica**, v. 45, p. 92-98, 2007.

FURLANI, A. M. C.; CARVALHO, C. P.; FREITAS, J. G. B. **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: Guanabara Koogan, 2004.

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

IBAÑEZ, T. B.; SANTOS, L. F. DE M.; LAPAZ, A. M.; RIBEIRO, I. V.; RIBEIRO, F. V.; REIS, A. R.; MOREIRA, A.; HEINRICH, R. Sulfur modulates yield and storage proteins in soybean grains. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 1, e20190020, 2021.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. IPEA Data. Disponível em: < <http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em 01/02/2021.

KANEKO, F. H.; ARF, M. V.; DAL BEM, E. A. D.; BUZETTI, S.; LEAL, A. J. F.; GITTI, D.C. Doses de gesso e desenvolvimento da cultura da soja em Latossolo Vermelho argiloso em região de cerrado. **Agrarian**, v. 8, p. 253-259, 2015.

KÖPPEN, W. **Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra**. Ciudad del Mexico, Mexico: Fondo de Cultura Econômica. 1948. 478 p.

LORETO Y SAMPAIO, M. **Interação calcário, gesso e potássio no cultivo da soja em diferentes condições edafoclimáticas**. 2020. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina. 68p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação na soja**. (Divulgação Técnica, 5). [S.I.]: Ultrafertil Departamento de Serviços Técnicos Agronômicos, 1978. 40 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. Cap. 2 – O solo como fornecedor de nutrientes. p.35. Ed. Agronômica Ceres, São Paulo, 1980.

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

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

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. New York: Academic Press, 2012, 651 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p.

MOREIRA, A.; EVANGELISTA, A. R.; CARVALHO, J. G.; SALVADOR, J. O. Efeito de fontes e doses de enxofre nos teores e conteúdo de micronutrientes na alfafa e no trevo branco. **Boletim de Indústria Animal, Nova Odessa**, v. 54, n. 2, p. 55-60, 1997.

MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C. Sulfur use efficiency in soybean cultivar adapted to tropical and subtropical conditions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, p. 2208-2217, 2016.

MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C. **Nutrição mineral e adubação da cultura da soja: Macronutrientes**. Livro – Nutrição e adubação de grandes culturas. Capítulo 10. Jaboticabal, 2018. p.181-201. 379.p.

MOREIRA, A.; MOTTA, A. C. V.; COSTA, A.; MUNIZ, A. S.; CASSOL, L. C.; ZANAO JUNIOR, L. A.; MULLER, M. M. L.; BATISTA, M. A.; HAGER, N.; PAULETTI, V. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**, 2a edição. 02. ed. Londrina: NEPAR/SBCS, 2019. v. 1. 289 p.

PROVENZANO, R.S.; MOREIRA, A.; MORAES, L.A.C.; CABRERA, R.A.D. Agronomic efficiency of sulfur sources and interaction of sulfur with micronutrients. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, p. 1-7, 2020.

RAIJ, B. V; **Gesso na Agricultura**. Campinas, 2008. 233.p.

SANTOS, H. P; TOMM, G. O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: Efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 29, n. 2, 1999.

SIACESP. Sindicato da Industria de Adubos e Corretivos Agrícolas no Estado de São Paulo. Brasil – **Importação de fertilizantes e de matérias-primas para fertilizante**. Circular nº07/2018 – SP/01-02-2018. Disponível em: <<http://www.siacesp.com.br/ver2/>>. Acesso em 15/06/2018

SFREDO, G. J., BORKERT, C. M.; LANTMANN, A. **Estudo da disponibilidade de Enxofre para a cultura da soja em solos do Brasil**. Embrapa, Londrina. Documentos, 2015 p. 34-37, 2003.

SFREDO, G. J.; MOREIRA, A. Efficiency of sulfur application on soybean in two types of Oxisols in Southern Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 46, n.14, p. 1802-1813. 2015

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. Ed. Porto Alegre, 2017. 858 p.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizers**. 5. ed. New York: MacMillan, 1993. 634 p.

URANO, E. O. M.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, Sistema integrado de diagnose e recomendação e diagnose da composição nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 63-72. 2007

VALARINI, J. P. **O Mercado da Soja: Evolução da Commodity Frente aos Mercados Internacional e Doméstico**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Presbiteriana Mackenzie: São Paulo, 2010. 20 p.

VITTI, G. C.; HEIRINCHS. R. **Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão holística**. Livro – Nitrogênio e Enxofre na agricultura brasileira. Capítulo 4. Piracicaba, 2007. 722 p.

WIETHÖLTER, S.; Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. p. 135-184. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011.

ZHAO, Y.; XIAO, X.; BI, D.; HU, F. 2008. Effects of sulfur fertilization on soybean root and leaf traits, and soil microbial activity. **Journal of Plant Nutrition**, v. 1, p. 473–483.