



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

MARITA DI LORETO Y SAMPAIO

**INTERAÇÃO CALCÁRIO, GESSO E POTÁSSIO NO  
CULTIVO DA SOJA EM DIFERENTES CONDIÇÕES  
EDAFOCLIMÁTICAS**

MARITA DI LORETO Y SAMPAIO

**INTERAÇÃO CALCÁRIO, GESSO E POTÁSSIO NO  
CULTIVO DA SOJA EM DIFERENTES CONDIÇÕES  
EDAFOCLIMÁTICAS**

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

Orientador: Prof. Dr. Adônis Moreira

Londrina  
2020

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

S1921 Sampaio, Marita Di Loreto Y.  
Interação calcário, gesso e potássio no cultivo da soja em diferentes condições edafoclimáticas / Marita Di Loreto Y Sampaio. - Londrina, 2020. 69 f. : il.

Orientador: Adônis Moreira.  
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2020.  
Inclui bibliografia.

1. Potassagem Glycine max - Tese. 2. Correção de solo - Tese. 3. Acidez - Tese. 4. Gessagem - Tese. I. Moreira, Adônis . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

MARITA DI LORETO Y SAMPAIO

**INTERAÇÃO CALCÁRIO, GESSO E POTÁSSIO NO CULTIVO DA  
SOJA EM DIFERENTES CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS**

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

**BANCA EXAMINADORA**

---

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

---

Prof. Dr. Ronaldo Alberto Duenhas Cabrera  
Coordenadoria de Desenvolvimento Rural  
Sustentável – CDRS

---

Prof. Dr. Thadeu Rodrigues de Melo  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. Cristovão Gomes Plácido Junior  
Instituto Federal do Amazonas – IFAM

---

Prof. Dr. Cecílio Viega Soares Filho  
Universidade Estadual Paulista – UNESP

Londrina, 31 de julho de 2020.

Dedico este trabalho à minha família:  
meu esposo, nosso filho Tomás e  
nosso bebê, ainda no ventre.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus e à Nossa Senhora pela oportunidade e por jamais me desamparar.

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

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Doutorado.

À minha família, por ser sempre meu porto seguro e meu combustível.

Ao meu esposo Gustavo, que foi paciente e com todo seu cuidado tornou tudo isso possível.

Ao meu orientador, Dr. Adônis pelos conhecimentos transmitidos e pelas oportunidades durante este período, sendo exemplo de profissional, auxiliando-me na caminhada.

Aos professores da UEL pelos meus ensinamentos adquiridos durante a realização do curso.

Aos técnicos do Laboratório de Solos da UEL e aos funcionários e estagiários da EMBRAPA, pela colaboração e participação, sem os quais, não conseguiria.

Às amigas que estiveram ao meu lado, dividindo os momentos de dificuldades, mas também de alegria.

Todos àqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, e mais do que isso, fazem parte da minha vida, muito obrigada.

“Os mistérios de Deus são mais satisfatórios  
que as soluções humanas.”

G.K. Chesterton

SAMPAIO, Marita Di Loreto y. **Interação calcário, gesso e potássio no cultivo da soja em diferentes condições edafoclimáticas**. 2020. 69 f. Tese de Doutorado em Agronomia– Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

## RESUMO

Para maximizar o tempo de plantio e minimizar os custos de produção, a aplicação em cobertura de fertilizantes e corretivos tem sido uma realidade entre os produtores no sistema de plantio direto (SPD), porém, poucos estudos em diferentes tipos de clima e solo mostram a eficiência desse modo de aplicação na produtividade, na manutenção da fertilidade no perfil do solo e no estado nutricional das plantas. Com o objetivo de avaliar os efeitos da interação calcário, gesso e potássio aplicados a lanço antes do cultivo da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) foi realizado um experimento com doses combinadas de calcário ( $MgO > 12\%$ ), gesso e potássio ( $K_2O$ ) em três localidades com condições edafoclimáticas distintas no estado do Paraná (Latossolo Vermelho eutroférico – Lve, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico- LVAd e Latossolo Vermelho distrófico- LVd). As aplicações de calcário e gesso aumentaram a produtividade da soja nos três solos; o calcário aumentou o pH e houve acréscimo nos teores de Ca e Mg nas duas profundidades, enquanto a gessagem proporcionou aumento dos teores de S nos solos e nos grãos; a interação calcário x gesso foi significativa para o LVAd; não houve interação entre os tratamentos para os componentes de produção avaliados. Observou-se interação entre calcário x gesso na produtividade do LVAd, nos teores de proteína e óleo do LVd e nos teores foliares de Ca. Para os teores de Ca dos grãos houve interação entre calcário x  $K_2O$  e gesso x  $K_2O$ .

**Palavras-chave:** Potassagem *Glycine max*. Correção de solo. Acidez. Gessagem.

SAMPAIO, Marita Di Loreto. **Lime, gypsum and potassium interaction in soybean crop under different climatic conditions.** 2020. 69 p. PhD thesis in Agronomy– Londrina State University, Londrina, 2020.

### ABSTRACT

To maximize planting time and minimize yield costs, the application of fertilizer, and corrective cover has been a reality among the no-tillage system. However, few studies on different types of climate and soil show the efficiency or not of this mode of application in the productivity with the maintenance of the soil fertility in soil profile and nutritional status of plants. In order to evaluate the effects of the limestone, gypsum, and potassium interaction applied before the soybean crop (*Glycine max* [L.] Merrill) on these variables, an experiment with combined limestone (MgO > 13%), gypsum, and potassium (K<sub>2</sub>O) rates in three sites with distinct edaphoclimatic conditions in the Paraná State with three different Latosols - Oxisols (Lve, LVd, and LVAd). The variables analyzed were productivity, yield components (height, number of pods per plant, number of branches per plant, number of grains per pod, weight of 100 seeds), nutrients concentrations in the diagnostic leaf and grains, and the soil chemical attributes (pH, C, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, S, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cu, Fe, Zn, and Mn at depths 0-10 cm and 10-20 cm; oil and protein contents in the soybeans. Limestone and gypsum applications increased soybean productivity in the three soils; the limestone increased the pH, Ca, and Mg in both levels of the soil, while the gypsum provided an increase in the S levels in the soil and grains; the limestone x gypsum interaction was significant for LVAd; there was no interaction between treatments for the yield components. There was an interaction between limestone x gypsum in the productivity of the LVAd area. The oil and protein content of the grains and Ca concentration in the leaf increased in the area of LVd.

**Key words:** *Glycine max* [L.] Merrill. Interaction. Soil correction. Potash.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Teor de argila espontânea dispersa em água (AEDA) em função das concentrações de  $K_2O$  (0, 200 e 400  $kg\ ha^{-1}$ ) em dois solos paranaenses [Londrina – Latossolo Vermelho eutroférico, LVe e de Ponta Grossa – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, LVAd] coletados em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm). Valores em porcentagem indicam a alteração relativa ao controle (sem aplicação de  $K_2O$ ). Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey .....51
- Figura 2** – Teor de K trocável em função das concentrações de  $K_2O$  (0, 200 e 400  $kg\ ha^{-1}$ ) em dois solos paranaenses [Londrina – Latossolo Vermelho eutroférico (LVe) e de Ponta Grossa – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, LVAd] coletados em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm). Valores em porcentagem indicam a alteração relativa ao controle (sem aplicação de  $K_2O$ ). Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.....51
- Figura 3** – Análise de componentes principais em solos paranaenses nos municípios de Londrina (Latossolo Vermelho eutroférico, LVe) e de Ponta Grossa (Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, LVAd) para as variáveis argila espontânea dispersa em água (AEDA, %), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), carbono (%), saturação de cálcio e magnésio (Ca e Mg, %), fósforo (P,  $mg\ dm^3$ ), potássio ( $cmolc\ dm^3$ ),  $Al^{3+}$  e  $H+Al$  em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) e três concentrações de  $K_2O$  aplicadas (0,200 e 400  $kg\ ha^{-1}$ ) .....52

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Produtividade da soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) influenciada pelas doses de calcário, potássio e gesso em três locais com solos representativos do Estado do Paraná. Média de duas safras .....33
- Tabela 2** – Componentes de produção influenciados pelas doses de calcário, potássio e gesso em três locais com solos representativos do Estado do Paraná. Média de duas safras .....34
- Tabela 3** – Teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn em função da aplicação das doses de calcário, potássio e gesso em três solos representativos do Estado do Paraná. Média de duas safras .....35
- Tabela 4** – Valores de pH e teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{S-SO}_4^{2-}$  e P remanescente (P-rem) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm em função da aplicação das doses de calcário, potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) e gesso em três solos representativos do Estado do Paraná. Média de duas safras.....36
- Tabela 5** – Valores de pH e teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{S-SO}_4^{2-}$  e P remanescente (P-rem) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm em função da aplicação das doses de calcário, potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) e gesso em três solos representativos do Estado do Paraná. Média de duas safras.....38
- Tabela 6** – Teores de C, B, Cu, Fe, Mn e Zn nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm em função da aplicação das doses de calcário, potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) e gesso em três solos representativos do Estado do Paraná. Média de duas safras.....40
- Tabela 7** – Teor de óleo e proteína em função da aplicação das doses de calcário, potássio e gesso em três solos representativos do estado do Paraná. Média de duas safras.....42
- Tabela 8** – Granulometria dos solos dos municípios de Londrina (L) - Latossolo Vermelho eutroférico e Ponta Grossa (PG) - Latossolo Vermelho Argiloso fertilizados, coletados em 0-10 e 10-20 cm de profundidade .....49
- Tabela 9** – Análise química dos solos paranaenses nos municípios de Londrina (A: Latossolo Vermelho) e Ponta Grossa (B: Latossolo Vermelho amarelo em duas profundidades e três concentrações de  $\text{K}_2\text{O}$  aplicadas ( $0,200$  e  $400 \text{ Kg ha}^{-1}$ ) .....53

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
2.1	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA SOJA .....	14
2.2	FERTILIDADE DOS SOLOS.....	15
2.3	APLICAÇÃO E EFEITO DO CALCÁRIO .....	16
2.4	APLICAÇÃO E EFEITO DO GESSO AGRÍCOLA .....	20
2.5	FERTILIZAÇÃO POTÁSSICA .....	22
2.6	ARGILA ESPONTÂNEA DISPERSA EM ÁGUA.....	24
<b>3</b>	<b>ARTIGO A EFEITOS DA APLICAÇÃO EM COBERTURA DE CALCÁRIO, GESSO E POTÁSSIO SOBRE A CULTURA DA SOJA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO EM TRÊS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DO ESTADO DO PARANÁ</b>	
3.1	RESUMO.....	26
3.2	ABSTRACT.....	27
3.3	INTRODUÇÃO .....	28
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
3.6	CONCLUSÃO.....	44
<b>4</b>	<b>POTÁSSIO E DISPERSÃO ESPONTÂNEA EM DOIS SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ</b>	
4.1	RESUMO.....	45
4.2	ABSTRACT.....	46
4.3	INTRODUÇÃO .....	47
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	48
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50
4.6	CONCLUSÃO.....	54
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO FINAL</b> .....	55
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	56

## 1 INTRODUÇÃO

Com a finalidade de aumentar a produtividade e explorar o potencial produtivo de cada cultivar, as práticas adequadas de manejo são essenciais, sendo as recomendações de adubação e correção dos solos consideradas bases para a eficiência na disponibilidade e uso dos nutrientes às plantas. Fazendo com que os agricultores busquem cada vez mais investir nos recursos de correção e adubação das áreas agrícolas com o intuito de obterem altos rendimentos.

Além da prática de fertilização, o principal manejo utilizado no Brasil, que também interfere positivamente na qualidade do solo, é o Sistema Plantio Direto (SPD), no estado do Paraná. Nesse sistema de cultivo, algumas práticas precisam ser respeitadas e adotadas, como cultivo mínimo do solo rotação de culturas, a cobertura do solo por plantas e resíduos vegetais que protegem o solo do impacto físico da chuva, escoamento superficial e erosão, além de fornecer matéria orgânica e melhorar a disponibilidade de nutrientes e água para as plantas.

Por ser uma prática considerada de cultivo mínimo, em que o preparo do solo se dá apenas no sulco de semeadura, o SPD reduziu o revolvimento do solo e aumentou as aplicações feitas a lanço, ao invés de incorporadas, como é feito no cultivo convencional. Dessa forma, seu uso contínuo somado às adubações recorrentes, podem provocar acidificação natural do solo, fazendo-se necessário a aplicação de calcário.

Entretanto, a calagem em SPD só corrige a acidez em superfície, para solos com toxidez por elevado teor de alumínio ( $Al^{+3}$ ), elemento tóxico para as plantas, e aumentar a profundidade das raízes, o uso do gesso agrícola é uma alternativa, visto suas características químicas de carrear nutrientes, principalmente cátions como o  $Mg^{2+}$  e o  $K^+$  e também fornecer enxofre (S).

A aplicação de calcário e gesso pode ser realizada simultaneamente, embora alguns autores apresentem resultados contrários, realçando a informação de que essa associação pode acarretar no desbalanço nutricional na solução do solo. Um exemplo desse desbalanço seria a inibição do potássio ( $K^+$ ) devido à interação com cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e magnésio ( $Mg^{2+}$ ), uma vez que elevando a concentração desses dois últimos ocorre a preferência em retê-los aos colóides, segundo a série liotrófica de Holfmeister, justificando a deficiência potássica relatada muitas vezes na cultura da soja atualmente.

Contudo, para suprir este déficit causado pelo próprio empobrecimento

natural do solo, não suficiente para as culturas, a adubação potássica na cultura tem sido recomendada a partir de calibrações baseadas na sua produtividade, que muitas vezes, é inferior à exigência nutricional da soja; e nas condições de SPD, as aplicações também são realizadas a lanço em cobertura, o que favorece a presença dos nutrientes na camadas superficiais, onde estão localizadas a maior parte das raízes, responsáveis pela absorção, que irão entrar em contato com o nutriente, em sua maioria por difusão.

Sendo assim, o trabalho tem como objetivo avaliar a resposta da soja após a aplicação de calcário, gesso e potássio na interação dos nutrientes no solo e na planta em três condições edafoclimáticas do estado do Paraná, estabelecendo os efeitos dos tratamentos sobre a eficiência agronômica e fisiológica na cultura.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L) Merrill) originou-se na costa leste da Ásia, no norte da China, ao longo do Rio Amarelo ou Yangste, há aproximadamente cinco mil anos. Era considerado um grão sagrado pelos antigos chineses, juntamente com arroz, cevada, trigo e milho. De hábito rasteiro, era muito diferente da conhecida hoje, até que cientistas começaram a domesticar e melhorar a leguminosa, quando a espécie era de domínio apenas dos asiáticos (EMBRAPA, 2004).

Entre o período de 200 anos a.C. e o século III d.C, a soja foi expandindo de maneira gradual e lenta em direção ao Norte da China e Sudeste Asiático, chegando ao Japão e a Coreia. Somente nos séculos XV e XVI a soja adentrou territórios europeus, inicialmente por curiosidade em jardins da França, Alemanha e Inglaterra. Foi somente no século XVIII que pesquisadores se interessaram em estudar sua capacidade de produção de óleo e alimentação animal. E, apesar do interesse dos pesquisadores e indústrias de países europeus como a Rússia, Inglaterra e Alemanha, mesmo já havendo cultivo comercial no continente, não houve sucesso, devido às condições desfavoráveis de cultivo (EMBRAPA, 2004).

A entrada inicial da soja no continente Norte-Americano, se deu inicialmente, no interesse nas bactérias do gênero *Bradyrhizobium* sp. e seus hábitos nas raízes, atuando na fixação biológica de nitrogênio (FBN). Assim, por essa razão, os americanos se interessaram pela cultura, como uma forma de enriquecimento do solo (MINTZ et al., 2012).

No Brasil, o primeiro registro da soja data no ano de 1882 e alguns relatos do ano de 1900, avaliando seu potencial como forragem no Rio Grande do Sul (FERRAZ, 2001) e a expansão ocorreu majoritariamente nas regiões sul-sudeste e centro-oeste, principalmente nos estados do Rio Grande do Sul e do Paraná durante a década de 1960. Desde então, a cultura apresenta um significativo espaço na agricultura nacional, o que confere ao país o lugar de segundo maior produtor dos grãos no mundo (NETO, 2004). Estas áreas, por sua vez, estão em latitudes tropicais, as quais vêm, por décadas sendo as zonas de agriculturas mais produtivas do mundo (SOUSA; VIEIRA, 2008).

O cultivo de soja no Brasil corresponde a 49% da área plantada em grãos, sendo a cultura agrícola com maior desenvolvimento nas últimas três décadas no país (MAPA, 2016). A cultura possui elevado valor agrícola, uma vez que apresenta boa adaptabilidade em diversas condições edafoclimáticas e pode ser aplicada na alimentação animal e humana, com efeitos benéficos à saúde (LIU, 1999).

O Brasil é o primeiro produtor mundial de soja, possuindo em torno de 36,8 milhões de hectares de área cultivada, sendo o estado do Paraná, responsável por uma área superior a 5 milhões de hectares, produção de 120,4 milhões de toneladas e produtividade média de 3598 kg ha<sup>-1</sup> na última safra (CONAB, 2020).

O sistema mais utilizado atualmente no cultivo da soja é o Sistema de Plantio Direto (SPD) com 32,9 milhões de hectares, que corresponde a mais da metade da área agrícola do País e o estado do Paraná, responsável por 4,9 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2018). Esse sistema apresenta diversas características favoráveis à produção de grãos e qualidade química, física e biológica para o solo, pois além de conservar a umidade nas camadas superficiais (CAIRES; FONSECA, 2000), promove acúmulo da matéria orgânica no solo (MOS), principalmente em superfície, conseqüentemente, melhora a agregação do solo, aumenta a quantidade e qualidade da atividade microbiológica, e conseqüentemente, maior disponibilidade dos nutrientes para as culturas, complexação de elementos tóxicos, e aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

No entanto, devido ao longo período em revolvimento, essas áreas podem apresentar impedimentos físicos e químicos para o aprofundamento do sistema radicular das culturas.

Dentre os impedimentos, um dos mais limitantes à produtividade das culturas é a acidez dos solos (FAGERIA, 2001; MATOS et al., 2007), necessitando, portanto, de aplicação de corretivos, como o calcário.

## 2.2 ASPECTOS NUTRICIONAIS DA CULTURA DA SOJA

Dentre os nutrientes exigidos e extraídos pela planta da soja, o nitrogênio (N) possui maior demanda, devido à fixação biológica de N, e seguido pelo potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e enxofre (S) (MALAVOLTA, 2006).

Das funções do K destaca-se a regulação da abertura dos estômatos, controle osmótico dos tecidos, ativador enzimático, como síntese de amido e de proteína e fotossíntese, portanto dentre os sintomas de deficiência, observa-se

acamamento, redução de crescimento das raízes, clorose nas folhas mais velhas, necrose nas bordas, atraso na floração, e redução do crescimento dos frutos/enchimento de grãos (FAGERIA, 2009).

A absorção do K pelas plantas na solução do solo acontece na sua forma iônica  $K^+$  e sua absorção pode ser maior ou menor pela presença de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (MALAVOLTA, 2006; FAGERIA, 2009), pois altos teores destes elementos podem ser competitivos e gerarem inibição do  $K^+$ , causar desequilíbrio entre  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , prejudicando também o crescimento das plantas (MOREIRA, 1999).

A falta de N pode ocasionar clorose e queda prematura das folhas, redução no crescimento e no número de vagens; baixo teor de Ca, pode causar redução de raízes, vagens pequenas e baixo enchimento de grãos; ao Mg, plantas reduzidas com baixo número de vagens; ao P, redução na ramificação e clorose; e falta de S pode acarretar em folhas com pontas secas e necrose, (MATHAN, 1995) tudo isso, afetando diretamente, então, a produtividade.

De acordo com Oliveira Junior et al. (2018), têm-se observado desuniformidades no desenvolvimento das plantas, na maturação e qualidade e densidade dos grãos devido ao desbalanço do potássio na cultura da soja, desta forma, o fornecimento adequado do nutriente pode melhorar esses efeitos e favorecer a nodulação melhorar os componentes de produção e teor de óleo.

### 2.3 APLICAÇÃO E EFEITO DO CALCÁRIO

Oriundo da estratificação de rochas calcárias, compostas basicamente por carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ), o calcário tem sua formação pelo acúmulo de organismos como invertebrados e conchas provenientes de rios, mares ou lagos subterrâneos (SILVA, 2009). Além de fornecer e melhorar a disponibilidade de nutrientes atua como produto tamponante da acidez do solo, problema este considerado um dos principais causadores da redução do potencial produtivo em solos tropicais e redução de disponibilidade dos nutrientes (ZAPPAROLI et al., 2013).

Os solos podem ser naturalmente ácidos devido ao material de origem ou pela própria pedogênese (RAIJ et al., 1977), de forma que a partir da constituição da rocha e ação do intemperismo sobre os minerais de argila, pode haver liberação de Al, Fe e Mn para a solução do solo, que ao serem hidrolisados, esses cátions

dissociam do H<sup>+</sup>, acidificando o solo (ERNANI, 2008). Além disso, no sistema agrícola, alguns processos de manejo do solo podem acelerar ou intensificar o processo de acidificação (QUAGGIO, 2000).

Em solos com condições de pH baixo tende a ocorrer redução da disponibilidade de nutrientes, como ocorre com o fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e molibdênio (Mo), e maior solubilização de íons como manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e ferro (Fe) (SFREDO, 2008), em concordância com Malavolta (1981), ao relatar que os efeitos proporcionados pela aplicação de corretivos no solo estão as alterações químicas como neutralização do Fe e Al trocável, insolubilização do Mn, fornecimento de Ca e Mg, elevação do valor do pH, e modificações na CTC efetiva e disponibilidade de micronutrientes.

Assim, uma maneira de proporcionar maior equilíbrio dos nutrientes e fornecimento dos mesmos, regulando a acidez do solo, é a aplicação de calcário (NAHASS; SEVERINO, 2003), que atua principalmente no fornecimento de Ca e Mg e na solubilização de Al e Mn (COSTA, 1996).

Quanto às recomendações para aplicação de fertilizantes e corretivos, estas estão diretamente relacionadas ao potencial de resposta das plantas aos nutrientes e, conseqüentemente, na disponibilidade destes no solo, podendo basear-se na equação [adubação = (exigência da planta – fornecimento do solo) × fator de eficiência (0 a 1)] sugerida por Malavolta, 2006.

Quanto à acidez, os solos podem ser naturalmente ácidos devido à pobreza do material de origem em bases, através de processos de formação ou então, através do manejo que acarretem à perda de bases, conseqüentemente, acidificação (QUAGGIO, 2000).

Áreas de maior atividade agrícola comumente demandam da necessidade da prática de calagem, principalmente em Latossolos, que são em sua maioria ácidos, com elevados teores de alumínio trocável e baixa saturação por bases, podendo ou não alterar significativamente as propriedades físicas dos solos (agregar ou desagregar as partículas) que decorrerá das suas características mineralógicas e das doses do corretivo aplicado (PEARSON, 1975; PRADO, 2003).

Além disso, o manejo adequado das culturas deve se basear no conceito de sistemas de produção, ou seja, a recomendação de fertilizantes e corretivos não pode ser realizada isoladamente para uma determinada cultura, e sim, integrada no tipo de cultivo adotado na qual está inserida (anuais com a rotação de culturas ou

perenes no plantio consorciado), juntamente com o sistema de plantio direto ou convencional. Para que o ciclo se complete na sua plenitude, é também necessário conhecer o manejo fitotécnico e as características do solo utilizado, mantendo o nível dos nutrientes para as culturas em todo ciclo de crescimento vegetativo e reprodutivo.

Dessa forma, dentro de cada sistema de cultivo, o manejo adequado do solo está associado à eficiência de uso de nutrientes (FAGERIA, 2009). Com a consolidação do SPD no cultivo de grãos nas últimas décadas nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil (CAIRES et al., 2000; CAIRES et al., 2003; NICOLODI et al., 2008), o revolvimento do solo ficou limitado ao sulco de plantio, com isso, grande parte ou a totalidade da adubação das culturas tem sido feita a lanço ou na camada subsuperficial. A correção é feita, portanto, na superfície, sem incorporação.

De acordo com Arshad e Gill (1996), as culturas podem apresentar respostas semelhantes tanto no SPD quanto no convencional quando o calcário é incorporado, porém, os autores realizaram experimento em solos argilosos (20-60% de argila), o que provavelmente contribuiu para esse fato; e segundo Klepker e Angionini (1995) os métodos de preparo do solo não afetam o pH, distribuição de Ca, Mg e Al trocável no perfil.

Entretanto, alguns autores observaram que quando se trata do cultivo convencional, ocorre aumento de produção quanto à calagem incorporada (MASCARENHAS et al., 1969; RAIJ et al., 1977; QUAGGIO et al., 1993); Para Oliveira e Pavan (1996), a adição superficial de manutenção de calcário em SPD, tem sido efetiva quanto ao aumento do pH e produtividade de grãos de soja, o mesmo observado por Miranda et al (2005) em condições de Latossolo Vermelho, concluindo que as doses de calcário podem promover aumentos de produtividade em ambos os sistemas de cultivo. Diferente do ocorrido em outros trabalhos com solos ácidos e SPD, onde os autores encontraram respostas pouco expressivas de produtividade quanto à aplicação de calcário na superfície (CAIRES; FONSECA, 2000; POTTKER; BEM, 1998).

Isto pode estar relacionado ao maior acúmulo da MOS e nutrientes na superfície do solo, que proporciona a redução da toxicidade e atividade do Al (SALET et al., 1999), aumento da CTC, mesmo em solos ácidos e maior umidade

nas camadas superficiais, favorecendo a absorção dos nutrientes (CAIRES; FONSECA, 2000).

Neste tipo de cultivo, com a acidificação natural do perfil do solo decorrente, entre outros fatores, do tipo de fertilizante utilizado e da atividade do sistema radicular, após anos de cultivo, a correção da acidez se faz necessária, embora a reação do calcário seja geralmente limitada ao local de sua aplicação no solo, não apresentando um efeito rápido na diminuição da acidez do perfil do solo (ZAPPAROLI et al., 2013).

Para a definição da necessidade de calagem, os indicadores de acidez de solos variam entre as regiões brasileiras. Para a região sul, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, o mais utilizado é o de pH em água (CQFS RS/SC, 2004); para o estado de São Paulo e Paraná, é o de saturação por bases (RAIJ, et al., 2001; PAULETTI; MOTA, 2017); para os estados do norte, nordeste e centro-oeste utiliza-se o teor de  $Al^{+3}$  (QUAGGIO, 2000); sendo o Al, Ca e Mg trocáveis, principalmente na região de Cerrado (SOUSA; LOBATO, 2004).

Fatores, como condições hídricas, granulometria do calcário, relevo e tipo de solo (SORATTO; CRUSCIOL, 2008) influenciam negativamente a correção da acidez, principalmente quando feita a lanço em cobertura, que, em condições elevadas de matéria orgânica, pode ocorrer aumento do pH e diminuição da acidez atingindo gradativamente as camadas mais profundas no perfil do solo (FRANCHINI et al., 1999). No entanto, isso não é uma regra, visto que em solos com baixo teor de MO, a correção da acidez do solo pode ficar restrita a camada de 0-5 cm do solo (MIRANDA et al., 2005).

Quanto à faixa de pH, há uma relação direta com a maior ou menor disponibilidade de nutrientes para as plantas. Assim, a acidez dos solos promove várias alterações que afetam direta ou indiretamente o desenvolvimento das culturas. Dentre as alterações provocadas pelo pH está a atividade do  $Al^{+3}$ , quanto menor o pH, maior será a atividade do Al trocável, conseqüentemente, maior efeito de toxicidade para as plantas (SOUSA et al., 1987). Desta forma, uma maneira de solucionar essa questão é a utilização de calcário e gesso em associação.

## 2.4 APLICAÇÃO E EFEITO DO GESSO AGRÍCOLA

O gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ou fosfogesso é um insumo obtido de rochas ou a partir da fabricação de ácido fosfórico. Com sua composição de cálcio e enxofre, permite o aumento dos teores destes nutrientes nos solos (VITTI et al., 2008). Desta forma, a gessagem pode reduzir os problemas descritos por Malavolta (2006), onde relata que 70% dos solos tropicais e subtropicais brasileiros apresentam baixos teores de S disponíveis.

Devido ao elevado custo do frete para utilização de gesso em diferentes localidades do Brasil, muitos produtores vêm utilizando o S elementar ( $\text{S}_0$ ), preferencialmente na forma pastilhada como opção. No entanto, poucas pesquisas sobre o uso do S-elementar como fonte do nutriente às plantas têm sido realizadas no Brasil (VITTI et al., 2006; FRANDOLOSO et al., 2010). Uma das características é que esse material quando aplicado ao solo é absorvido somente pelas plantas depois de sua oxidação a sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Isso ocorre por meio de reações preferencialmente realizadas por microrganismos que acidificam o meio (HOROWITZ; MEURER, 2006). Dos estudos realizados com S elementar, Moreira et al. (1997; 1998), Vitti et al. (2006) e Frandoloso et al. (2010) obtiveram respostas positivas, semelhantes ao gesso, no aumento da produtividade da alfafa (*Medicago sativa* L.), trevo branco (*Trifolium repens* L.), soja e milho (*Zea mays* L.), respectivamente. Enquanto Fageria e Singh (1982) e Carmona et al. (2009) não obtiveram incremento significativo na produtividade do trigo (*Triticum aestivum* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.).

Por ser um sal neutro, não apresenta capacidade de consumir prótons  $\text{H}^+$ , portanto, não pode aumentar o pH do solo (MASCHIETTO, 2009), assim pode ser aplicado isolada ou concomitantemente com o calcário, que fará a correção da acidez (CAIRES et al., 1999; FAGERIA et al., 2014).

Desde a década de 1990 o gesso tem sido utilizado no SPD para a redução da toxicidade por  $\text{Al}^{+3}$ , transformando-o em formas menos tóxicas como o sulfato de alumínio ( $\text{AlSO}_4^+$ ) ou precipitando-o na solução (ZAMBROSI et al., 2007). É considerado um condicionador de solo com ação até as camadas subsuperficiais sem a necessidade de incorporação (CAIRES et al., 2003).

Devido a sua alta mobilidade, cerca de 150 vezes mais que o calcário (MASCHIETTO, 2009), a aplicação combinada dos dois corretivos pode ser uma

alternativa viável para o carreamento de nutrientes no perfil, como Ca, Mg, K, entre outros (DIAS et al., 1994; SILVA et al., 1997), o que favorecerá o aumento da saturação por bases nas camadas mais profundas do solo e a redução do efeito tóxico do  $Al^{3+}$  trocável, diminuindo sua atividade na solução do solo (ALVA et al., 1986).

Além disso, a prática da gessagem melhora o ambiente radicular para o desenvolvimento das plantas, uma vez que pode atuar como um “descompactante” do solo, pois devido sua lixiviação na solução, proporciona maior exploração e eficiência dos nutrientes às raízes (RAIJ, 2008), conseqüentemente, melhor agregação e maior aproveitamento não somente de nutrientes, mas da absorção de água pelas plantas (ROSA JUNIOR et al., 2006).

Por outro lado, a gessagem pode provocar lixiviação de magnésio e de potássio das camadas superficiais, oferecendo condições para eventuais déficits nutritivos se não houver um fornecimento adequado promovendo o equilíbrio (ALVA; GASCHO, 1991). Uma forma de evitar esses déficits é a aplicação associada de gesso com calcário.

No entanto, alguns autores refutam a aplicação conjunta destes corretivos por apresentarem resultados contraditórios (RODRIGUES et al., 1993; CAIRES et al., 1999; CAIRES et al., 2003; FAGERIA et al., 2014). Caires et al. (1999; 2003; 2010) relataram que aplicação a lanço de gesso em solos com elevados teores de matéria orgânica (MO), associada ou não à prática da calagem não ocasiona em incremento na produção de grãos (PG) de soja.

Enquanto Fageria et al. (2014) e Soratto e Crusciol (2008) verificaram que em solo de cerrado com baixo nível de MO e SPD recém-implantado, a aplicação combinada desses dois produtos tiveram resultados positivos na produção. Em outro experimento, Caires et al. (2006) observaram que a aplicação de gesso não alterou a produção, mas melhorou a qualidade dos grãos da soja, ocasionando aumento nas concentrações de proteína, S, P, K e Ca. No caso do sistema convencional de cultivo, com incorporação do calcário, Quaggio et al. (1993) relataram que a calagem minimiza o efeito positivo do gesso até a camada de 0-20 cm, não havendo resposta significativa na produção de grãos com aplicação desse último.

## 2.5 FERTILIZAÇÃO POTÁSSICA

As plantas absorvem potássio como  $K^+$ , o íon é translocado pelo xilema, passando pelo floema, aonde é encontrado em maior concentração devido a sua função no transporte de açúcares (HALL; BAKER, 1972); Cerca de 70% do potássio total é encontrado nas células em forma iônica, enquanto que 30% são absorvidos em proteínas, com liberação gradativa, conforme a senescência das plantas. Sua alta mobilidade entre as células e tecidos permite a translocação para folhas e órgãos mais velhos aos órgãos mais novos e em desenvolvimento (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Após o N, é o nutriente absorvido em maior quantidade pelas plantas (MOREIRA et al., 2015), sendo, dentre os macronutrientes presentes nos grãos, o de maior quantidade, seguido por S, Ca, Mg e P podendo variar conforme as condições edafoclimáticas (PAULETTI; MOTTA, 2019). A soja é capaz de extrair em média  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  e exportar  $20 \text{ kg}$  de K por tonelada de grãos (TPS, 2013) e, embora suas exigências sejam elevadas, as adubações são feitas, na sua maior parte, com base em recomendações de calibração para produtividades aquém das atuais.

Além disso, a maior parte das pesquisas relacionadas à fertilidade dos solos e adubação potássica foi desenvolvida em preparos de solos convencionais, o que demanda uma revisão dos conceitos aplicados, já que às práticas conservacionistas estão instaladas na agricultura. (MIELNICZUK, 2006).

Ainda segundo o mesmo autor, embora o manejo conservacionista favoreça a infiltração de água, o teor de K tende a ser menor, devido ao aumento da CTC e à recuperação da matéria orgânica e presença contínua de planta no solo.

A aplicação insuficiente de fertilizante, por sua vez, pode acarretar na redução das reservas nutricionais do solo, e a aplicação demasiada, intensificar as perdas, ainda que os solos apresentem médias ou elevadas CTC (ERNANI et al., 2007).

Desta forma, o tipo de cultivo também deve ser levado em consideração, como é o caso do SPD, onde se faz necessário o conhecimento da mobilidade vertical dos nutrientes no solo, dado que os fertilizantes são aplicados nas camadas superficiais, sem incorporação (WERLE et al., 2008). Nestas lavouras, principalmente se os agricultores retiram os terraços e fazem a semeadura em

desnível, tem-se observado sedimentos e enxurradas com alta concentração de K (MIELNICZUK, 2006).

Poucos estudos mostram o efeito do modo de aplicação e a interação com outros fertilizantes e corretivos na disponibilidade do nutriente para as plantas. Sabe-se que manutenção da concentração de K nas camadas superficiais do solo, onde a maior parte das raízes está localizada e a demanda contínua da soja de ciclo indeterminado são relevantes. Essa importância corrobora com os resultados de Pauletti et al. (2014), ao relatarem que o gesso proporcionou incremento no pH, uma vez que há o efeito de diluição do  $H^+$  em relação as bases que aumentam no perfil, e nas concentrações de Ca e S no perfil do solo, lixiviou Mg e não lixiviou o K em profundidade.

A aplicação de grandes quantidades de calcário e gesso pode ocasionar o desbalanço dos ions  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$  na solução do solo. Ao elevar os dois primeiros cátions no complexo de troca, eleva-se progressivamente a atividade iônica correspondente, e, devido a essa preferência na sequência liotrófica de Hofmeister, ocorre menor preferência em reter o  $K^+$  aos coloides do solo (ALVARENGA; LOPES, 1988; HAVLIN et al., 2004).

Embora haja competição entre os três cátions, Jaworski e Barber (1957) afirmam que a calagem aumenta a disponibilidade de K no solo, conseqüentemente, a absorção do mesmo pelas plantas, corroborando os dados de Mascarenhas et al. (1987) e Rosolem et al. (1992), ao observaram maior produtividade de grãos com o acréscimo do índice  $(Ca+Mg)/K$  no solo. Da mesma forma, Mascarenhas et al. (2000) notaram que nas três relações foliares  $Ca/K$ ,  $Mg/K$  e  $(Ca+Mg)/K$  apresentaram redução com a aplicação de doses maiores de potássio.

Portanto, ao carrear os cátions no perfil do solo, os sulfatos percoláveis aumentam na seguinte ordem  $MgSO_4^0 > CaSO_4^0 > K_2SO_4^0$  (RAIJ, 2008; RAMOS et al., 2013). Souza et al. (2012), ao estudarem os efeitos da aplicação de gesso, observaram diminuição na lixiviação de K e aumento na concentração de  $Mg^{2+}$  no perfil do solo. Cabe destacar, que devido o modo de aplicação de fertilizantes e corretivos adotados em SPD sem incorporação e dos efeitos de inibição entre os íons de Ca e K e Mg e K descritas por Malavolta et al. (1997), são comuns relatos de deficiência de K na soja (CASTRO et al., 2011).

Os sintomas comuns são clorose seguida de necrose nas pontas e margens das folhas, com acúmulo de putrescina (EPSTEIN; BLOOM, 2006), relatados

também por Raij e Mascarenhas (1976) e Mascarenhas et al. (1987) quando os primeiros sintomas foram relatados nas culturas comerciais de soja, em cultivares que apresentavam maior exportação do nutriente por área, conseqüentemente, maior exigência nutricional, em condições de adubação inferior a necessidade.

Além disso, o desequilíbrio nutricional proveniente de práticas de correção e adubação realizadas de maneira inadequada pode acarretar gastos desnecessários com insumos e danos também à qualidade física do solo, como desagregação das frações do colóide.

## 2.6 ARGILA ESPONTÂNEA DISPERSA EM ÁGUA

A tendência que um solo apresenta de ter sua fração coloidal dispersa em água pode ocorrer naturalmente ou por intervenção antrópica, apresentando diferentes respostas de acordo com suas características químicas, físicas e mineralógicas (NETO et al., 2009).

Essa fração de argila dispersa pode causar o entupimento dos macroporos e aumento da densidade do solo (PARADELO et al., 2013), dificultando o enraizamento, e conseqüentemente, reduzindo a infiltração e absorção da solução pelas raízes. Além disso, facilita a movimentação de fosfatos, pesticidas e metais pesados aos recursos hídricos, podendo também formar crostas superficiais mais densas que causarão problemas na germinação de sementes e emergência de plântulas (MARTIN et al., 2015).

Como dito anteriormente, a dispersão de argila pode ocorrer naturalmente ou por intervenção antrópica, quando, neste último a desagregação das partículas ocorre de maneira acelerada. Dentre os fatores que influenciam a dispersão das argilas está a qualidade da água aplicada em fertirrigação, uma vez que, água com salinidade menor que  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$  (especialmente  $0,2 \text{ dS m}^{-1}$ ) tende a lixiviar os sais minerais solúveis, reduzindo a estabilidade dos agregados (NETO et al., 2010).

O mesmo acontece com manejo inadequado do solo, como calagens superficiais e adubações em excesso, uma vez que, o uso desequilibrado de fertilizantes acarreta, muitas vezes, no efeito contrário do desejado, como a depleção e indisponibilidade dos nutrientes (MARTIN et al., 2015).

Uma forma de estudar a estabilidade dos agregados do solo é determinar a argila espontânea dispersa em água (AEDA) do solo, que se refere às partículas de

argila que facilmente se dispersam pela água. Devendo ser levado em consideração para interpretação, as características específicas dos solos, como teor de argila, de agentes cimentantes, como a matéria orgânica, óxido de Fe e Al, sais solúveis e teores de cátions trocáveis (PARADELO et al., 2013).

Os danos causados pela desagregação do solo encontrados por meio da AEDA são encontrados em literatura provenientes de estudos com solos salinos, com elevado teor de sódio ( $\text{Na}^+$ ) também proveniente de fertirrigações, como é o caso do oriente médio. Embora os solos brasileiros, geralmente, não apresentem problemas relacionados ao  $\text{Na}^+$ , o comportamento do  $\text{K}^+$  é bastante semelhante, uma vez que ambos são cátions monovalentes, e a presença em excesso contribui na floculação e formação de microagregados, devido ao aumento da espessura da porção difusa da dupla camada elétrica das partículas (MAHANTA et al., 2012; MAHANTA et al., 2014).

De acordo com Ribeiro et al. (2013), em solos tropicais, o aumento do uso da vinhaça de cana-de-açúcar tem provocado dispersão das partículas do solo, uma vez que o líquido aplicado é rico em potássio. Os autores encontraram em experimento realizado em Minas Gerais, que aplicação do líquido acarretou na desestabilidade das partículas, variando com a categoria dos solos.

Confirmando os dados encontrados por Tejada et al. (2007), em estudos com solos submetidos à aplicações de vinhaça de beterraba, onde a saturação de K na CTC do solo acarretou na dispersão das partículas, conseqüentemente, erosão e degradação das estruturas, aumentando conforme o aumento da concentração do íon no solo.

No entanto, para Setia et al. (2013), elevadas concentrações de sais no solo promovem o efeito contrário, intensificam a floculação das partículas e contrabalançam o efeito de dispersão, principalmente nos solos sódicos. Para Iori (2010) a floculação preserva a estrutura dos solos, favorecendo a formação dos agregados.

Deste modo, o conhecimento da estabilidade dos agregados pode ser aplicado para indicar a qualidade do solo e sua resistência a agentes erosivos (NICHOLS; TORO, 2011), julgando necessários mais estudos sobre a relação com as concentrações de sais no solo e desagregação das partículas ocasionadas pelo uso indiscriminado de adubos potássicos, com avaliações de AEDA.

### 3 ARTIGO A

## EFEITOS DA APLICAÇÃO EM COBERTURA DE CALCÁRIO, GESSO E POTÁSSIO SOBRE A CULTURA DA SOJA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO EM TRÊS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DO ESTADO DO PARANÁ

### 3.1 RESUMO

As consequências das aplicações de fertilizantes e corretivos realizadas a lanço em cobertura no sistema de plantio direto no cultivo da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) não são muito conhecidas. Com o objetivo de estudar seus efeitos sobre a produtividade, teores de nutrientes e atributos químicos do solo, foram instalados três experimentos sob diferentes condições edafoclimáticas do estado do Paraná (Latosolo Vermelho Eutroférico- LVe, Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico- LVAd e Latossolo Vermelho Distrófico- LVd). Foram quantificadas as seguintes variáveis: produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), componentes de produção (altura; número de vagens por planta; número de ramos por planta; número de grãos por vagem; peso de 100 sementes; tamanho de grãos, teores dos nutrientes na folha diagnóstico e nos grãos, e os atributos químicos do solo nas profundidades de 0-10, 10-20 cm; e teores de óleo e proteína nos grãos de soja. Foi realizado teste de normalidade e teste F a 5% de variância. As aplicações de calcário e de gesso aumentaram a produtividade da soja nos três solos; o calcário aumentou o pH nos três solos e houve acréscimo nos teores de Ca e Mg nas duas profundidades; a gessagem proporcionou aumento dos teores de S nos solos e nos grãos; a interação calcário x gesso foi significativa para o LVAd; não houve interação entre os tratamentos para os componentes de produção avaliados houve interação entre calcário x gesso na produtividade do LVAd, nos teores de proteína e óleo do LVd e nos teores foliares de Ca. Para os teores de Ca dos grãos houve interação entre calcário e  $\text{K}_2\text{O}$  e entre gesso e  $\text{K}_2\text{O}$ .

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill; interação; correção de solo; potassagem

### 3.2 ABSTRACT

The consequences of the applications made to the cover in no-tillage system in soybean cultivation (*Glycine max* [L.] Merrill) are not well known. To study its effects on productivity, nutrient contents and soil chemical attributes, three experiments with different edaphoclimatic conditions were installed in the Paraná State in three different Latosols (Oxisols). The following variables were quantified: productivity ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), production components (plant height, number of pods per plant, number of branches per plant, number of grains per pod, weight of 100 seeds, g; and contents in the diagnostic leaf and grains, sieves  $>4,76 \times 19,05 \text{ mm}$ ;  $4,76 \times 19,05 \text{ mm}$ ; and  $<4,76 \times 19,05 \text{ mm}$ , %) nutrient content in the diagnostic leaf and grains, and soil chemical attributes (pH, C, P,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$ ,  $\text{S} \cdot \text{SO}_4^{-2}$ , Cu, Fe, Zn, and Mn) at depths of 0-10, 10-20 cm; and soil and protein contents in soybeans. Limestone and gypsum application increases soybean productivity in the three soils studied; the limestone increased the pH in the three soils and there was an increase in the Ca and Mg contents in both depths; plastering increased S levels in soils and grains; the interaction between Limestone  $\times$  Gypsum was significant for LVAd; there was an interaction between Limestone  $\times$  Gypsum  $\times$   $\text{K}_2\text{O}$ .

**Palavras-chave:** *Glycine max* [L.] Merrill;; soil correction; potash; .

### 3.3 INTRODUÇÃO

O Brasil é o pioneiro na implantação do cultivo em Sistema Plantio Direto (SPD), responsável pela maior área agrícola cultivada nesse sistema, correspondendo cerca de 32 milhões de hectares do território nacional (FEEBRAPDP, 2014).

Entretanto, com a acidificação natural do perfil do solo devido à deposição de matéria orgânica e atividade do sistema radicular, o pH dos solos tende a reduzir, o que torna necessário a correção dessas áreas. Uma vez que as técnicas de cultivo do SPD exigem o revolvimento mínimo do solo, as correções e adubações ocorrem primordialmente à lanço, de forma que somente as camadas superficiais são corrigidas (POOTTKER; BEN, 1998)

Alguns autores notaram que em solos brasileiros, com aplicações de calcário sem incorporação não foi encontrado movimento do corretivo para as camadas do subsolo (GONZALES et al., 1979; RITCHEY et al., 1980; PAVAN et al., 1984), predominando, assim os efeitos nas camadas superficiais. Em contrapartida, outros autores também observaram aumento do Ca trocável e redução do teor de  $Al^{+3}$  no subsolo (CHAVES et al., 1984; OLIVEIRA; PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1998).

Com o intuito de neutralizar o  $Al^{+3}$  e melhorar a profundidade do sistema de raízes, a aplicação do gesso é uma prática que melhora o desenvolvimento das plantas. Podendo ser aplicado em conjunto com o calcário. Entretanto, algumas respostas contraditórias têm sido observadas. Para Caires et al. (2010), a aplicação associada não proporciona incremento na produtividade dos grãos, enquanto para Fageria et al. (2014) essa associação proporciona aumento na produtividade da soja.

Entretanto, a aplicação desses corretivos em excesso pode provocar um desbalanço nutricional entre  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ , uma vez que há preferência dos colóides pelos dois primeiros. Assim, ao carrear os cátions nas camadas subsuperficiais no perfil do solo aumenta-se o teor de sulfatos percoláveis no perfil do solo ( $MgSO_4^0 > CaSO_4^0 > K_2SO_4^0$ ) (RAIJ, 2008), favorecendo a deficiência de K nas plantas de soja, que têm alta demanda pelo nutriente (20 kg de K por tonelada de grãos) (TPS, 2013).

Visto a escassez de estudos que mostram o efeito do modo de aplicação e interação com fertilizantes e corretivos no cultivo da soja disponibilidade de K para as plantas de soja, o presente trabalho teve como objetivo avaliar esses efeitos em três áreas com diferentes condições edafoclimáticas.

### 3. 4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em dois anos agrícolas (2016/2017 e 2017/2018) e três locais sob sistema de plantio direto com clima e solos distintos.

a) Londrina (23°23'30"LS e 51°11'05"LW) - Latossolo Vermelho Escuro Eutroférico (LVe) com os seguintes atributos químicos: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 4,6, matéria orgânica (MO) = 18,3 g kg<sup>-1</sup>, P (Mehlich 1) = 12,4 mg kg<sup>-1</sup>, K<sup>+</sup> = 0,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Ca<sup>2+</sup> = 2,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Mg<sup>2+</sup> = 0,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 9,1 mg kg<sup>-1</sup>, Al<sup>3+</sup> = 0,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> = 3,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, capacidade de troca de cátions (CTC) = 7,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, saturação por bases (V) = 46,6% e argila = 710 g kg<sup>-1</sup>;

b) Ponta Grossa (25°05'42"LS e 50°10'43"LW) Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd): pH (CaCl<sub>2</sub>) = 4,9, matéria orgânica (MO) = 20,3 g kg<sup>-1</sup>, P (Mehlich 1) = 2,0 mg kg<sup>-1</sup>, K<sup>+</sup> = 0,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Ca<sup>2+</sup> = 1,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Mg<sup>2+</sup> = 0,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 6,9 mg kg<sup>-1</sup>, Al<sup>3+</sup> = 0,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> = 5,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, capacidade de troca de cátions (CTC) = 8,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, saturação por bases (V) = 33,3% e argila = 600 g kg<sup>-1</sup>;

c) Luiziana (24.2858° S e 52.2695° W Latossolo Vermelho distrófico (LVd): pH (CaCl<sub>2</sub>) = 5,0, matéria orgânica (MO) = 39,6 g kg<sup>-1</sup>, P (Mehlich 1) = 7,8 mg kg<sup>-1</sup>, K<sup>+</sup> = 0,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Ca<sup>2+</sup> = 4,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Mg<sup>2+</sup> = 1,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 7,1 mg kg<sup>-1</sup>, Al<sup>3+</sup> = 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> = 5,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, capacidade de troca de cátions (CTC) = 12,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, saturação por bases (V) = 52,2% e argila = 699 g kg<sup>-1</sup>

O delineamento experimental foi o de blocos confundidos 3<sup>3</sup>, com duas repetições (3x3x3) (PIMENTEL; GOMES, 2009). Os tratamentos consistiram de três doses de calcário [(0, 5 e 10 t ha<sup>-1</sup> – fonte: calcário (MgO > 13%)], três doses de gesso (0, 1,5 e 3,0 t ha<sup>-1</sup>) – fonte: fosfogesso e três doses de K<sub>2</sub>O (0, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup>) – fonte: cloreto de potássio, KCl (60% de K<sub>2</sub>O) em parcelas de 4,0 metros por 8,0 metros. A cultivar de soja utilizada foi a transgênica BRS 1003RR IPRO, precoce, de porte médio, hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 5,8.

Para a adubação, exceto o N, os micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn) foram aplicados na forma de sais misturados. No segundo cultivo da soja (safra 17/18), a adubação, (exceto o N) foi realizada com base na análise de solo obtida após o cultivo da cultura anterior, aveia (*Avena sativa*) dessecada. As doses de K foram aplicadas antes de cada semeadura, enquanto as doses de calcário e gesso foram dose única, somente antes do primeiro cultivo de soja (safra 16/17).

Nos estádios V<sub>3</sub> e V<sub>6</sub> (FEHR; CAVINESS, 1977), as plantas receberam aplicação de glifosato (Roundup Ready®) na dose de 1,5 L/ha/aplicação (540 g a.e.ha<sup>-1</sup>) com pulverizador costal, a pressão constante, mantida por CO<sub>2</sub> comprimido de 276 kPa com volume de pulverização equivalente a 100 L ha<sup>-1</sup>. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii* – SEMIA 587 e SEMIA 5019 (4,0×10<sup>9</sup> células viáveis g<sup>-1</sup>) e tratadas com solução contendo molibdênio (Mo), cobalto (Co) e níquel (Ni) (TPS, 2013).

Para a diagnose foliar, as folhas foram secas em ventilação forçada em estufa a ± 65 °C até massa constante e passadas em moinho com peneira de 0,4 mm. O N total foi extraído por digestão sulfúrica e determinado pelo método micro-Kjeldahl (NELSON; SOMMERS, 1972).

Para os teores no tecido vegetal de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn total foram extraídos por digestão em solução nitricoperclórica. O P total foi determinado por espectrofotometria com azul de molibdênio (Mo) e o S por turbidimetria (NOVOZAMSKY et al., 1983). Os teores de K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn total foram analisados por espectrofotometria de absorção atômica, de acordo com os métodos descritos por Malavolta et al. (1997).

No final do experimento foram coletadas quatro fileiras centrais, contendo dez plantas de cada tratamento, para determinação do número de grãos por vagem, número de vagens por planta, número de ramos por planta, altura, número de grãos por vagem e peso de 100 sementes. A produtividade foi determinada na área de 4,0 m × 7,0 m deixando 50 cm de cada lado como bordadura. Nos grãos, também foi determinada a quantidade de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn).

Os tratos culturais (aplicação de fungicidas e inseticidas) foram acompanhados com o manejo integrado a fim de quantificar o grau de infestação de pragas e doenças e, quando necessário. Os produtos foram aplicados de acordo com a TPS (2013).

Após cada cultivo da soja, foram quantificados os atributos químicos do solo (pH, em  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{KCl}$   $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ , C (MO), P,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ,  $\text{S-SO}_4^{2-}$ , Cu, Fe, Mn e Zn) nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm. As análises foram realizadas de acordo com as metodologias descritas em Embrapa (1997).

Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade (HICKS, 1973), e posteriormente, realizada a análise de variância (ANAVA) e teste F a 5% de significância.

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados observados na Tabela 1, houve diferenças entre os três locais com alterações significativas para a aplicação de calcário, o que acarretou em aumento significativo na produtividade da soja, o mesmo foi observado por Smith (1984), ao reportar acréscimo de 31% na produção de grãos quando houve a aplicação do calcário.

Cabe destacar que entre os solos estudados e as condições climáticas distintas, a produtividade observada no solo LVe foi a única que não apresentou diferença estatística para a adubação potássica realizada, possivelmente devido o teor no solo e a menor produtividade observada, acarretando a menor exportação do nutriente (Tabela 1).

Para a aplicação do gesso, observou-se que houve diferença significativa para as três áreas (LVe, LVAd e LVd), favorecendo o aumento da produtividade, conforme o incremento das doses, sendo a maior dose ( $3,0 \text{ t ha}^{-1}$ ) foi a que favoreceu a maior produtividade, corroborando os resultados obtidos por Zandoná et al. (2015) em soja cultivada em um LVd. Além disso, Costa (2011) observou também em um LVd as doses não precisam ser elevadas, visto que a maior resposta da produtividade da soja foi obtida com aplicação de  $2,1 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso.

Alguns autores, entretanto, em condições semelhantes não observaram diferenças para a aplicação de gesso na cultura da soja (CAIRES et al., 2006; NOGUEIRA; MELO, 2003; MASCHIETTO, 2009), o que pode ser atribuído esses resultados à presença do S proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo existente no perfil ou na camada cultivada ( $20,0 \text{ g kg}^{-1}$ ). (NOGUEIRA; MELO, 2003).

Quanto às interações verificadas entre os tratamentos, só foi possível observá-la para a interação calcário x gesso no solo LVAd, provavelmente por apresentar condições de menores teores de Ca e Mg trocável ( $1,8$  e  $0,7$   $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , respectivamente) e de S disponível ( $\text{S-SO}_4^{2-}$   $6,9$   $\text{mg kg}^{-1}$ ) nos solos e saturação por bases (V) de  $33,3\%$ .

**Tabela 1.** Produtividade da soja (kg ha<sup>-1</sup>) influenciada pelas doses de calcário, potássio e gesso em três locais com solos representativos do Estado do Paraná. Média de duas safras.

Tratamentos	LVe	LVAd	LVd	Média
Calcário-K <sub>2</sub> O-Gesso	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
0-0-0	2650,7	4056,3	3614,8	3440,6
0-0-1,5	3084,2	4061,9	3916,6	3687,5
0-0-3,0	3216,8	4162,3	4252,4	3877,2
0-200-0	2780,6	3572,5	3404,2	3252,4
0-200-1,5	3012,4	3816,3	3803,8	3544,2
0-200-3,0	3290,7	3989,3	3863,7	3714,6
0-400-0	2430,7	3524,2	3786,4	3247,1
0-400-1,5	2852,5	3782,8	4071,9	3569,1
0-400-3,0	2959,3	3861,0	4202,3	3674,2
5-0-0	2669,9	3475,9	3871,7	3339,2
5-0-1,5	2823,3	3911,2	3877,2	3537,2
5-0-3,0	2952,6	4257,2	3923,1	3710,9
5-200-0	2222,2	3544,7	3635,6	3134,2
5-200-1,5	2374,8	3978,2	3917,7	3423,6
5-200-3,0	2755,0	4541,9	4063,6	3786,8
5-400-0	2688,9	3548,4	3624,3	3287,2
5-400-1,5	2393,4	3916,8	3934,8	3415,0
5-400-3,0	3181,7	4285,1	4055,7	3840,9
10-0-0	2194,9	4000,5	3706,4	3300,6
10-0-1,5	2450,0	4114,9	3878,3	3481,1
10-0-3,0	2852,2	4114,9	4055,9	3674,3
10-200-0	2052,2	3648,9	3715,5	3138,9
10-200-1,5	2369,0	4073,1	4045,6	3495,9
10-200-3,0	2719,6	4218,2	4265,6	3734,5
10-400-0	2441,0	3593,1	3887,9	3307,3
10-400-1,5	2552,0	3697,5	4278,8	3509,4
10-400-3,0	2753,0	4173,5	4573,5	3833,3
Média	2693,5b	3923,0a	3934,3a	3516,9
0	2919,76	3869,64	3879,54	3556,31
Calcário 5 t ha <sup>-1</sup>	2673,54	3939,93	3878,18	3497,22
10 t ha <sup>-1</sup>	2487,10	3959,39	4045,27	3497,25
0	2766,06	4017,24	3899,57	3560,96
K <sub>2</sub> O 200 kg ha <sup>-1</sup>	2619,62	3931,44	3857,24	3469,44
400 kg ha <sup>-1</sup>	2694,72	3820,27	4046,17	3520,39
0	2459,01	3662,72	3694,09	3271,94
Gesso 1,5 t ha <sup>-1</sup>	2656,85	3928,07	3969,39	3518,10
3,0 t ha <sup>-1</sup>	2964,54	4178,16	4139,51	3760,74
Teste F				
Calcário	*	*	*	ns
K <sub>2</sub> O	ns	*	*	ns
Gesso	*	*	*	*
Calcário × K <sub>2</sub> O	ns	ns	ns	ns
Calcário × Gesso	ns	*	ns	ns
K <sub>2</sub> O × Calcário	ns	ns	ns	ns
DP	327,0	519,0	450,5	543,0
CV (%)	12,14	13,23	11,45	15,44

\* e ns significativo e não significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si a 5% de probabilidade. LVe – Latossolo Vermelho eutroférico, LVAd – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, LVd – Latossolo Vermelho distrófico.

**Tabela 2.** Componentes de produção influenciados pelas doses de calcário, potássio e gesso em três locais com solos representativos do Estado do Paraná. Média de duas safras.

Tratamentos	Doses	Altura cm	Vagens por planta n	Ramos por planta n	Grãos por vagem n	Peso de 100 sementes g	Peneiras		
							>4,76 × 19,05 mm %	4,76 × 19,05 mm %	<4,76 × 19,05 mm %
LVe		91,1b	61,3b	4,4b	2,3a	12,6b	52,1c	25,6a	22,4a
LVAd		118,6a	50,8b	2,6c	2,4a	15,3a	79,9b	13,0b	7,1b
LVd		82,6b	80,5a	6,0a	2,6a	16,4a	95,8a	2,5c	1,6c
Calcário	0	97,0	63,2	4,3	2,3	14,7	74,5	13,8	11,7
	5 t ha <sup>-1</sup>	97,5	64,1	4,3	2,3	14,7	76,3	13,8	9,9
	10 t ha <sup>-1</sup>	97,8	65,2	4,3	2,4	14,9	76,9	13,6	9,6
K <sub>2</sub> O	0	97,6	62,5	4,3	2,3	14,8	73,9	14,9	11,2
	200 kg ha <sup>-1</sup>	97,8	64,9	4,2	2,3	14,7	76,4	13,9	10,3
	400 kg ha <sup>-1</sup>	97,1	65,1	4,5	2,4	14,8	77,4	12,3	9,7
Gesso	0	97,5	62,1	4,3	2,3	14,7	77,2	13,8	9,0
	1,5 t ha <sup>-1</sup>	97,5	64,5	4,3	2,4	14,7	76,3	13,4	10,4
	3,0 t ha <sup>-1</sup>	97,9	66,0	4,5	2,3	14,9	74,3	13,9	11,8
Média		97,4	64,2	4,3	2,4	14,8	75,9	13,7	10,4
Teste F									
Calcário		ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*
K <sub>2</sub> O		ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Gesso		ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*
Calcário × K <sub>2</sub> O		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Calcário × gesso		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K <sub>2</sub> O × gesso		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Época		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DP		18,0	11,1	0,6	0,2	1,4	11,8	2,3	1,6
CV (%)		18,44	17,33	14,21	8,55	9,56	15,55	16,74	14,96

\* e ns significativo e não significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade. LVe – Latossolo Vermelho eutroférico, LVAd – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, LVd – Latossolo Vermelho distrófico.

Para os componentes de produção (Tabela 2), pode-se notar que a área de LVd apresentou diferença significativa dos demais solos, com maior número de vagens por planta e também número de ramos por planta e grãos com diâmetro superior a 4,76 mm, ou seja, os resultados demonstram que esses componentes podem ter influenciado diretamente para que a área apresentasse maior produtividade (Tabela 1).

Independentemente das condições edafoclimáticas estudadas, não houve interação entre os tratamentos (Calcário × Gesso × K<sub>2</sub>O) (Tabela 1), contradizendo a expectativa inicial devido às interações entre os nutrientes que compõem as fontes

estudadas, como descritas por Malavolta (2006), demonstrando serem independentes um do outro (calcário, gesso e K<sub>2</sub>O) no incremento da produtividade.

**Tabela 3.** Teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn em função da aplicação das doses de calcário, potássio e gesso em três solos representativos do Estado do Paraná. Média de duas safras.

Tratamentos	Doses	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>	Cu mg kg <sup>-1</sup>	Fe mg kg <sup>-1</sup>	Mn mg kg <sup>-1</sup>	Zn mg kg <sup>-1</sup>
LVe		52,5a	5,9a	30,5a	5,7b	1,6b	3,8a	7,5b	122,5b	55,5b	31,4b
LVAAd		45,7b	3,1b	21,7b	5,5b	3,3a	2,5b	9,5a	149,5a	72,3a	38,0a
LVd		48,8ab	5,4a	26,1ab	8,0a	1,4b	2,7b	6,6b	62,8c	39,7c	18,7c
Calcário	0 (1)	49,0	4,6	27,1	5,9	2,1	2,7	8,0	111,2	59,8	31,8
	5 t ha <sup>-1</sup> (2)	49,2	4,9	26,7	6,4	2,1	3,0	8,3	108,0	54,2	28,6
	10 t ha <sup>-1</sup> (3)	49,0	4,9	24,5	6,8	2,1	3,3	7,3	115,6	53,4	27,8
K <sub>2</sub> O	0 (1)	48,9	4,9	25,7	6,4	2,1	2,9	8,1	115,2	58,5	29,0
	200 kg ha <sup>-1</sup> (2)	49,5	4,8	26,1	6,5	2,1	3,2	7,1	110,2	56,4	29,2
	400 kg ha <sup>-1</sup> (3)	48,4	4,7	26,4	6,2	2,1	2,9	8,4	109,5	52,5	29,9
Gesso	0 (1)	45,3	4,7	26,5	6,0	2,1	2,5	8,1	121,6	57,2	28,4
	1,5 t ha <sup>-1</sup> (2)	48,9	4,7	26,4	6,3	2,0	3,0	7,6	105,8	56,3	29,8
	3,0 t ha <sup>-1</sup> (3)	52,8	5,0	25,4	6,8	2,1	3,4	7,9	107,5	54,0	29,9
Média		49,1	4,8	26,1	6,4	2,1	3,0	7,9	111,6	55,8	29,4
Teste F											
Calcário		ns	ns	*	*	ns	*	ns	ns	*	*
K <sub>2</sub> O		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
Gesso		*	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	*	ns
Calcário × K <sub>2</sub> O		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Calcário × gesso		ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K <sub>2</sub> O × gesso		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Época		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DP		6,0	0,5	5,6	1,1	0,2	0,5	1,1	17,3	7,2	3,4
CV (%)		12,17	9,44	21,53	17,44	9,21	16,32	13,54	15,47	12,96	11,48

\* e ns significativo e não significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade. LVe – Latossolo Vermelho eutroférico, LVAAd – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, LVd – Latossolo Vermelho distrófico.

Conforme Tabela 3 observa-se que a aplicação de calcário influenciou nos teores de K, Ca, S, Mn e Zn das folhas, demonstrando uma redução do teor de K e um acréscimo no teor de Ca, provavelmente pelas inibições dos tipos competitiva e não competitiva entre eles (MOREIRA et al., 1999). O aumento do S nas folhas de soja também foi observado por Quaggio et al (1993) em experimento com aplicação de calcário e gesso em Latossolo Vermelho Distrófico, enquanto no presente trabalho só houve diferença significativa para o LVe.

Caires et al (2001) observaram que o calcário incorporado proporcionou maior acréscimo nas concentrações de Ca e Zn nas folhas da soja do que quando aplicado na superfície, enquanto no presente trabalho houve acréscimo somente para o teor do macronutriente e redução no micronutriente citado. Corroborando esses autores, notou-se também que a calagem reduziu o teor de Mn foliar, possivelmente devido ao aumento da concentração de Mg no solo e aumento do pH na camada superficial do solo.

A aplicação de gesso agrícola proporcionou aumento nos teores foliares de N, Ca e S e reduziu o teor de Mn, diferente do observado por Quaggio et al. (1993).

**Tabela 4.** Teores nos grãos de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn em função da aplicação das doses de calcário, potássio e gesso em três solos representativos do Estado do Paraná. Média de duas safras.

Tratamentos	Doses	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>	Cu mg kg <sup>-1</sup>	Fe mg kg <sup>-1</sup>	Mn mg kg <sup>-1</sup>	Zn mg kg <sup>-1</sup>
LVe		63,6a	9,4a	24,1a	2,1a	1,3a	2,7a	7,9a	119,8a	15,4a	26,8a
LVA <sub>d</sub>		47,6b	8,0b	18,3b	1,6b	1,2a	2,7a	8,0a	111,1a	9,1b	19,0b
LV <sub>d</sub>		51,0b	7,8b	16,9b	1,5b	1,4a	2,8a	7,1b	104,4a	9,9b	28,4a
Calcário	0 (1)	53,1	8,4	21,4	1,7	1,3	2,6	8,0	115,9	10,5	23,5
	5 t ha <sup>-1</sup> (2)	54,5	8,2	20,1	1,8	1,3	2,7	6,7	109,2	10,7	25,1
	10 t ha <sup>-1</sup> (3)	54,7	8,6	17,8	1,8	1,3	2,9	8,3	110,1	13,3	25,6
K <sub>2</sub> O	0 (1)	52,6	8,6	17,9	2,1	1,3	2,8	7,6	109,7	10,8	22,8
	200 kg ha <sup>-1</sup> (2)	56,9	8,7	20,4	1,6	1,3	2,8	7,5	115,1	11,7	24,4
	400 kg ha <sup>-1</sup> (3)	52,7	7,9	21,0	1,5	1,3	2,7	7,8	110,5	12,0	27,0
Gesso	0 (1)	53,4	8,3	19,6	1,7	1,4	2,5	7,4	107,0	11,4	25,1
	1,5 t ha <sup>-1</sup> (2)	53,3	8,0	19,9	1,7	1,3	2,8	7,2	112,9	11,5	26,3
	3,0 t ha <sup>-1</sup> (3)	55,7	8,9	19,8	1,8	1,3	3,0	8,3	115,4	11,5	22,9
Média		54,1	8,4	19,8	1,7	1,3	2,8	7,6	111,7	11,5	24,7
Teste F											
Calcário		ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns
K <sub>2</sub> O		ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	*	ns
Gesso		ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
Calcário × K <sub>2</sub> O		ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Calcário × gesso		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K <sub>2</sub> O × gesso		ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Época		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DP		4,5	0,8	1,4	0,2	0,1	0,2	0,7	14,1	1,3	2,1
CV (%)		8,41	9,22	7,14	9,74	8,11	7,44	8,95	12,63	11,47	8,55

\* e ns significativo e não significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade. LVe – Latossolo Vermelho eutrófico, LVA<sub>d</sub> – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, LV<sub>d</sub> – Latossolo Vermelho distrófico.

Observou-se interação entre Calcário × Gesso nos teores de Ca das folhas avaliadas, observando maior teor do elemento na área LVd, provavelmente pelo fato da área ter apresentado maior teor de Ca no solo ( $4,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

Como demonstrado na Tabela 4, houve diferença significativa apenas para o teor de S e Mn nos grãos com a aplicação de calcário. Caires et al. (2003) observaram que a reaplicação de calcário em superfície não influenciou os teores de K, Mg, Cu, Mn e Fe nos grãos, mas aumentou os de Ca. Já Spehar (1994), em trabalho realizado com doses de calcário ( $1,0$  e  $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ ) em solo de cerrado, observou que o aumento da dose não causou alterações nos teores de Ca e Mg e resultou em concentrações mais baixas de P, K, Cu, Zn, Mn e Fe nas sementes, possivelmente devido ao efeito de diluição dos nutrientes na matéria seca das plantas pelo maior crescimento.

A potassagem proporcionou diferença significativa nos teores dos grãos apenas para K e Mn e houve diferença significativa entre as três áreas, sendo Londrina (LVef) a que demonstrou maior teor do elemento ( $24,1 \text{ g kg}^{-1}$ ). Notou-se também um aumento do teor com o aumento das doses de  $\text{K}_2\text{O}$ . Fatores, como a menor produtividade e tipo de solo podem ter influenciado este resultado.

A aplicação de gesso influenciou também no teor de S nos grãos de soja, proporcionando um acréscimo de 20% para a dose de  $3,0 \text{ t ha}^{-1}$  em relação ao tratamento controle.

Não houve interação entre os tratamentos (calcário × gesso ×  $\text{K}_2\text{O}$ ) influenciando no teor de nutrientes nos grãos (Tabela 4), ou seja, cada tratamento participou de forma independente nos teores dos nutrientes.

1 **Tabela 5.** Valores de pH e teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{S-SO}_4^{2-}$  e P remanescente (P-rem) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm em  
 2 função da aplicação das doses de calcário, potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) e gesso em três solos representativos do estado do Paraná. Média de  
 3 duas safras.

Solos	Doses	pH, $\text{CaCl}_2$		P, $\text{mg kg}^{-1}$		$\text{Ca}^{2+}$ , $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$		$\text{Mg}^{2+}$ , $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$		$\text{K}^+$ , $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$		$\text{S-SO}_4^{2-}$ , $\text{mg kg}^{-1}$		P-rem, $\text{mg kg}^{-1}$	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
LVeD	0 (a)	5,4	4,0	5,7	2,0	2,8	1,5	0,8	0,4	0,35	0,20	28,3	37,7	8,9	6,9
	5 t $\text{ha}^{-1}$ (a)	5,8	4,8	7,9	1,8	4,7	2,9	1,6	1,2	0,31	0,21	25,9	39,7	9,1	7,0
	10 t $\text{ha}^{-1}$ (a)	6,4*	4,9*	8,3*	1,6ns	6,2*	3,9*	2,6*	2,4*	0,36ns	0,19ns	35,2ns	51,8*	8,8ns	6,4ns
	0 (b)	5,7	4,5	7,2	2,0	4,4	2,9	1,6	1,4	0,16	0,09	27,9	40,5	8,1	6,6
	200 $\text{kg ha}^{-1}$ (b)	5,8	4,6	7,7	1,6	4,8	2,9	1,5	1,3	0,29	0,19	29,9	49,8	9,8	6,9
	400 $\text{kg ha}^{-1}$ (b)	6,1ns	4,6ns	7,0ns	1,8ns	4,7ns	2,6ns	1,7ns	1,3ns	0,56*	0,32*	31,6ns	38,9*	8,9ns	6,8ns
	0 (c)	5,9	4,4	7,1	1,8	4,4	2,8	1,7	1,4	0,31	0,22	19,1	20,2	8,6	6,2
	1,5 t $\text{ha}^{-1}$ (c)	5,8	4,6	7,1	1,9	4,6	2,8	1,5	1,3	0,34	0,19	28,6	42,4	9,5	7,0
3 t $\text{ha}^{-1}$ (c)	5,9ns	4,5ns	7,7ns	1,7ns	4,8ns	2,8ns	1,7ns	1,3ns	0,37ns	0,19ns	41,8*	66,7*	8,6ns	7,1ns	
LVAd	0 (a)	4,9	3,9	5,8	2,5	2,3	1,5	0,6	0,5	0,52	0,21	24,0	39,1	9,8	5,1
	5 t $\text{ha}^{-1}$ (a)	5,8	4,6	6,6	2,2	5,2	2,6	1,8	1,4	0,49	0,17	27,3	41,3	10,7	5,8
	10 t $\text{ha}^{-1}$ (a)	6,3*	4,7*	7,3*	2,3ns	6,0*	3,9*	2,7*	2,2*	0,54ns	0,15ns	35,6*	44,1*	9,8ns	7,3*
	0 (b)	5,9	4,5	6,6	2,3	4,4	2,9	1,7	1,5	0,23	0,08	29,8	37,9	10,1	5,8
	200 $\text{kg ha}^{-1}$ (b)	5,6	4,3	6,5	2,3	4,6	2,5	1,6	1,4	0,48	0,17	28,8	41,7	10,2	6,0
	400 $\text{kg ha}^{-1}$ (b)	5,5ns	4,4ns	6,5ns	2,4ns	4,4ns	2,6ns	1,7ns	1,3ns	0,84*	0,29*	28,4ns	44,9*	10,0ns	6,4ns
	0 (c)	5,6	4,5	7,0	2,2	4,3	2,5	1,8	1,4	0,51	0,18	12,1	16,3	9,9	5,9
	1,5 t $\text{ha}^{-1}$ (c)	5,7	4,3	6,6	2,4	4,6	2,7	1,6	1,5	0,52	0,18	28,3	40,4	10,2	6,1
3 t $\text{ha}^{-1}$ (c)	5,7ns	4,4ns	6,1ns	2,4ns	4,6ns	2,8ns	1,6ns	1,4ns	0,52ns	0,17ns	46,5ns	67,7*	10,2ns	6,2ns	
LVd	0 (a)	4,9	4,3	4,5	2,3	2,9	2,4	0,7	0,7	0,29	0,19	24,3	46,2	11,3	7,6
	5 t $\text{ha}^{-1}$ (a)	5,4	4,5	6,3	2,4	4,5	3,7	1,5	1,4	0,28	0,24	22,4	42,2	11,3	7,8
	10 t $\text{ha}^{-1}$ (a)	5,8*	4,9*	7,2*	3,0ns	6,0*	4,3*	2,2*	2,1*	0,23ns	0,20ns	32,5*	60,2*	10,7ns	6,7ns
	0 (b)	5,2	4,6	5,8	2,5	4,3	3,5	1,5	1,3	0,15	0,17	25,0	46,1	11,2	6,9
	200 $\text{kg ha}^{-1}$ (b)	5,5	4,5	6,5	2,4	4,7	3,4	1,4	1,4	0,23	0,19	27,5	46,8	11,2	7,4
	400 $\text{kg ha}^{-1}$ (b)	5,5ns	4,6ns	5,8ns	2,8ns	4,4ns	3,5ns	1,5ns	1,5ns	0,43*	0,26*	26,7ns	55,7*	11,0ns	7,8ns
	0 (c)	5,4	4,7	5,5	2,6	4,4	3,4	1,5	1,4	0,23	0,20	19,8	31,5	11,0	6,4
	1,5 t $\text{ha}^{-1}$ (c)	5,5	4,4	6,0	2,6	4,5	3,4	1,5	1,3	0,26	0,21	26,9	48,9	11,4	7,9
3 t $\text{ha}^{-1}$ (c)	5,3ns	4,6ns	6,5ns	2,5ns	4,5ns	3,6ns	1,4ns	1,4ns	0,32ns	0,21ns	32,5*	68,1*	10,8ns	7,8ns	
Média		5,7a	4,5b	6,6a	2,2b	4,5a	3,0b	1,6a	1,4a	0,27a	0,20b	28,4b	44,7a	10,0a	6,8b
DP		0,5	0,3	0,6	0,2	0,6	0,3	0,2	0,1	0,04	0,02	3,6	3,7	1,1	0,6
CV%		8,15	7,23	9,18	7,94	13,69	8,54	11,94	9,17	16,15	14,97	12,55	8,33	11,24	8,87

4 \* e ns significativo e não significativo o efeito das doses a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras distintas na mesma linha dentro de cada elemento diferem entre si a 5% de probabilidade. LVe – Latossolo  
 5 Vermelho eutroférico, LVAd – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, LVd – Latossolo Vermelho distrófico. a) doses de calcário, b) doses de  $\text{K}_2\text{O}$ , c) doses de gesso.

6 A aplicação de calcário proporcionou aumento no pH das três áreas (LVe,  
7 LVAd e LVd) e foi significativa para a maior dose aplicada ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) nas  
8 profundidades 0-10 cm e 10-20 cm (Tabela 5).

9 Os teores de Ca e Mg trocável aumentaram significativamente nas  
10 profundidades 0-10 cm e 10-20 cm nas três áreas avaliadas, corroborando os  
11 resultados apresentados por Caires et al. (2003) em um LVd cultivado sobre SPD. A  
12 decomposição dos restos culturais da superfície do solo com os íons  $\text{H}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$   
13 formando compostos com facilidade de movimentação no perfil podem acarretar em  
14 aumento nos teores, ou seja, pode ocorrer a reação com  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{+3}$ , liberando Ca e  
15 Mg, permitindo o aumento do pH com o incremento de íons  $\text{OH}^-$  na solução do solo e  
16 dos teores dos macronutrientes presentes no calcário (MIYAZAWA, 1996).

17 Houve um aumento nos teores de K dos três solos avaliados em função das  
18 doses de  $\text{K}_2\text{O}$ , apresentando diferenças significativas apenas para a maior dose  
19 aplicada ( $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ ) nas duas profundidades (0-10 cm e 10-20 cm),  
20 aumentando os valores no perfil do solo (Tabela 5).

21 As maiores doses de calcário também proporcionaram aumento no teor de P  
22 disponível na profundidade 0-10 cm para as três áreas estudadas, com acréscimo  
23 conforme aumento das doses, enquanto para o P-rem, a maior dose só foi  
24 significativa para a área LVAd na profundidade de 10-20 cm.

25 A aplicação de gesso agrícola proporcionou acréscimo significativo de S no  
26 solo, sempre na maior dose utilizada ( $3 \text{ t ha}^{-1}$ ), nas duas profundidades (0-10 cm e  
27 10-20 cm) nos LVe e LVd, enquanto no LVAd a diferença significativa ocorreu  
28 somente na maior profundidade do perfil. Em trabalho avaliado por Zandoná et al  
29 (2015), esses autores encontraram um acréscimo nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  nos solos,  
30 diferente do observado no presente trabalho, em que não influenciou no teor desse  
31 nutriente.

32  
33  
34

35 **Tabela 6.** Teores de C, B, Cu, Fe, Mn e Zn nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm em função da aplicação das doses de calcário,  
 36 potássio (K<sub>2</sub>O) e gesso em três solos representativos do Estado do Paraná. Média de duas safras.

Solos	Doses	C, 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>	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Lvef	0 (a)	21,7	14,6	0,5	0,2	6,0	8,6	65,4	59,2	33,0	31,2	4,7	0,4
	5 t ha <sup>-1</sup> (a)	21,8	16,1	0,5	0,2	6,0	8,8	54,3	60,5	26,0	29,9	4,8	0,5
	10 t ha <sup>-1</sup> (a)	26,3ns	16,6ns	0,4ns	0,2ns	6,4ns	7,8ns	67,8ns	70,4*	26,1ns	28,2ns	5,0ns	0,5ns
	0 (b)	22,6	15,4	0,5	0,2	6,0	8,5	65,0	61,9	29,3	25,5	4,9	0,5
	200 kg ha <sup>-1</sup> (b)	24,6	15,6	0,4	0,2	6,6	8,8	60,5	64,0	30,2	29,3	4,9	0,5
	400 kg ha <sup>-1</sup> (b)	22,6ns	16,3ns	0,5ns	0,2ns	5,8ns	7,9ns	62,0ns	64,3ns	25,6ns	34,5*	4,6ns	0,4ns
	0 (c)	24,2	15,2	0,4	0,2	6,2	8,7	64,9	65,1	27,6	29,8	4,7	0,5
	1,5 t ha <sup>-1</sup> (c)	21,6	16,2	0,5	0,2	6,2	8,5	61,1	61,0	28,6	27,4	4,9	0,5
3 t ha <sup>-1</sup> (c)	24,2ns	15,9ns	0,5ns	0,2ns	6,0ns	8,1ns	61,4ns	64,0ns	29,0ns	32,1ns	4,8ns	0,4ns	
LVAd	0 (a)	26,9	20,2	0,4	0,3	7,7	7,2	42,9	42,8	36,1	32,8	2,8	0,5
	5 t ha <sup>-1</sup> (a)	23,8	19,9	0,5	0,2	6,6	6,7	41,5	54,0	37,4	32,7	3,6	0,5
	10 t ha <sup>-1</sup> (a)	25,0ns	18,2ns	0,5ns	0,2ns	6,0*	7,1ns	34,5ns	55,2*	36,0ns	40,7*	3,4ns	0,4ns
	0 (b)	25,0	19,5	0,5	0,3	7,2	6,3	39,3	49,4	38,2	30,6	3,3	0,5
	200 kg ha <sup>-1</sup> (b)	25,4	18,9	0,5	0,2	6,8	7,7	37,4	54,7	35,1	38,6	3,3	0,5
	400 kg ha <sup>-1</sup> (b)	25,3ns	19,9ns	0,4ns	0,3ns	6,4ns	7,0ns	42,1ns	47,9ns	36,2ns	36,9*	3,2ns	0,4ns
	0 (c)	25,6	19,0	0,5	0,2	6,8	7,4	40,6	48,7	35,0	33,4	3,3	0,4
	1,5 t ha <sup>-1</sup> (c)	24,2	19,7	0,5	0,3	6,8	7,2	38,2	52,6	36,6	39,7	3,1	0,5
3 t ha <sup>-1</sup> (c)	25,9ns	19,6ns	0,4ns	0,2ns	6,7ns	6,4ns	40,1ns	50,7ns	37,8ns	33,1ns	3,4ns	0,5ns	
LVd	0 (a)	20,7	18,3	0,2	0,3	7,5	9,7	45,7	54,6	52,0	26,6	2,6	0,8
	5 t ha <sup>-1</sup> (a)	20,2	18,4	0,2	0,3	6,8	9,7	45,2	50,3	65,9	28,0	2,5	0,7
	10 t ha <sup>-1</sup> (a)	21,3ns	16,5ns	0,2ns	0,2ns	7,2ns	9,4ns	45,7ns	49,9ns	41,1ns	40,7*	2,2ns	0,7ns
	0 (b)	20,3	17,5	0,2	0,3	7,3	9,5	47,0	53,4	54,2	31,1	2,2	0,6
	200 kg ha <sup>-1</sup> (b)	20,7	17,7	0,2	0,2	7,2	9,7	44,0	50,8	52,9	31,2	2,4	0,7
	400 kg ha <sup>-1</sup> (b)	21,2ns	18,0ns	0,2ns	0,2ns	7,0ns	9,6ns	45,6ns	50,6ns	51,9ns	33,0ns	2,7ns	0,7ns
	0 (c)	21,0	17,5	0,2	0,2	7,3	9,8	45,2	52,2	50,8	29,1	2,3	0,7
	1,5 t ha <sup>-1</sup> (c)	20,7	18,0	0,2	0,3	7,1	9,4	44,7	50,5	54,3	33,6	2,7	0,7
3 t ha <sup>-1</sup> (c)	20,5ns	17,7ns	0,2ns	0,2ns	7,1ns	9,6ns	46,7ns	52,1ns	53,8ns	32,7ns	2,3ns	0,6ns	
Média		23,1	17,6	0,4	0,2	6,7	8,3	49,2	55,2	39,3	32,3	3,5	0,6
DP		2,6	1,8	0,03	0,02	1,1	1,5	8,6	9,1	8,9	5,3	0,6	0,07
CV%		11,37	10,41	8,54	9,17	16,17	18,63	17,44	16,44	22,57	17,14	16,17	12,41

\* e ns significativo e não significativo o efeito das doses a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras distintas na mesma linha dentro de cada elemento diferem entre si a 5% de probabilidade. LVe – Latossolo Vermelho eutroférico, LVAd – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, LVd – Latossolo Vermelho distrófico. a) doses de calcário, b) doses de K<sub>2</sub>O, c) doses de gesso.

39            Conforme a Tabela 6 observa-se que a influência de alguns tratamentos  
40 ocorreu somente na camada mais profunda (10-20 cm). Os teores de Fe disponível  
41 aumentaram com a aplicação de calcário, sendo significativo na maior dose nos  
42 solos LVef e LVAd.

43            Os teores de Mn foram influenciados pela aplicação de K<sub>2</sub>O na dose de 400  
44 kg ha<sup>-1</sup> nas três áreas, enquanto no LVAd, também pode-se observar um aumento  
45 no teor conforme a aplicação de calcário também na maior dose. Apesar das  
46 variações, os teores dos nutrientes ficaram dentro das faixas indicadas por Malavolta  
47 et al. (1997), como adequadas para o cultivo da soja.

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71



73 **Tabela 7.** Teor de óleo e proteína em função da aplicação das doses de calcário, potássio e gesso em três solos representativos  
 74 do Estado do Paraná. Média de duas safras.

Solos	Doses	Óleo				Proteína			
		LVe %	LVAd %	LVd %	Média %	LVe %	LVAd %	LVd %	Média %
Calcário	0 (1)	22.1	21.9	19.9	21.3	37.8	38.2	38.2	38.1
	5 t ha <sup>-1</sup> (2)	21.5	21.0	19.7	20.8	38.5	38.9	38.2	38.5
	10 t ha <sup>-1</sup> (3)	20.9	21.4	19.9	20.7	38.9	39.0	38.6	38.8
K <sub>2</sub> O	0 (1)	21.6	21.4	20.1	21.0	38.4	39.0	38.7	38.5
	200 kg ha <sup>-1</sup> (2)	21.5	21.3	19.8	20.9	38.2	38.4	38.7	38.4
	400 kg ha <sup>-1</sup> (3)	21.5	21.7	19.5	20.9	38.6	38.7	38.2	38.5
Gesso	0 (1)	21.4	21.5	20.0	21.0	38.6	39.1	38.2	38.6
	1,5 t ha <sup>-1</sup> (2)	21.6	21.5	19.9	21,0	38.4	38.8	38.7	38.6
	3,0 t ha <sup>-1</sup> (3)	21.5	21.4	19.5	20.8	38.4	38.1	38.1	38.1
	Média	21,5a	21,4a	19,8b	20,9	38,4a	38,7a	38,3a	38,5
Teste F									
Calcário		*	ns	ns	*	ns	*	ns	*
K <sub>2</sub> O		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Gesso		ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*
Calcário × K <sub>2</sub> O		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Calcário × gesso		ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns
K <sub>2</sub> O × gesso		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Época		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DP		0,5	0,4	0,3	0,4	0,8	0,5	0,5	0,6
CV (%)		2,33	1,87	1,51	1,91	2,08	1,29	1,30	1,56

75 \* e <sup>ns</sup> significativo e não significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras distintas na mesma linha dentro de cada tratamento diferem entre si a 5% de probabilidade. LVe – Latossolo Vermelho  
 76 eutroférico, LVAd – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, LVd – Latossolo Vermelho distrófico.

77

78

79

80

81 A composição dos grãos de soja apresenta em média 40,3% de proteína,  
82 21,0% de óleo, 33,9% de carboidrato e 4,9% de cinzas na base seca (PERKINS,  
83 1995) e os valores observados se encontram próximos às médias.

84 O teor de óleo dos grãos reduziu 5,74% na área de soja cultivada no LVe,  
85 porém houve um aumento de 2,09% no teor de proteína, compatível com o aumento  
86 do teor de N encontrado nos grãos (Tabela 4), uma vez que o nutriente é  
87 responsável pela síntese protéica (PIPOLO et al., 2015), enquanto no LVAd houve  
88 uma redução de 2,56% no teor proteico dos grãos de soja.

89 Houve interação entre os tratamentos Calcário x Gesso para os teores de  
90 óleo e proteína avaliados no LVd.

91

92

93 3.6 CONCLUSÕES

94

95 1. A aplicação de calcário proporcionou aumento na produtividade dos  
96 grãos de soja nos três tipos de solos avaliados (LVef, LVAd e LVd).

97 2. A gessagem proporcionou aumento na produtividade dos grãos de  
98 soja nos três tipos de solos avaliados (LVef, LVAd e LVd).

99 3. Só houve a interação positiva Calcário x Gesso nos solos LVAd, o  
100 qual apresentava menores teores de Ca, Mg e V%.

101 4. Não houve interação significativa entre os tratamentos para os  
102 Componentes de produção avaliados.

103 5. A aplicação de calcário proporcionou aumento nos teores de Ca e  
104 redução nos teores de K, demonstrando a possibilidade de lixiviação.

105 6. A aplicação de gesso agrícola proporciona aumento no teor de S dos  
106 grãos e nos solos.

107 7. A aplicação do calcário proporcionou aumento do pH nas três áreas,  
108 com aumento dos teores de Ca e Mg a 0-10 cm e 10-20 cm.

109

110

## 111 4. ARTIGO B

### 112 POTÁSSIO E DISPERSÃO ESPONTÂNEA DE ARGILA EM DOIS SOLOS DO 113 ESTADO DO PARANÁ

114

#### 115 4.1 RESUMO

116 Uma das principais práticas responsáveis pelo desempenho da agricultura  
117 paranaense é o fornecimento de nutrientes via fertilização potássica. Entretanto, o  
118 potássio (K) pode induzir a dispersão espontânea das partículas dos solos,  
119 sobretudo da fração argila. O estudo teve como objetivo avaliar a relação entre a  
120 aplicação de fertilizante potássico e a dispersão espontânea da fração argila em dois  
121 Latossolos (Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho) fertilizados em três  
122 taxas: 0, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Analisou-se teor de argila espontânea dispersa  
123 em água (AEDA), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases,  
124 Carbono orgânico total, saturação por cálcio e magnésio, fósforo disponível, K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>  
125 e H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> trocável. Foi realizada análise de componentes principais (ACP) e notou-  
126 se aumento na AEDA com a aplicação de K<sub>2</sub>O para ambos os solos na camada de  
127 0-10 cm. Não foi possível constatar aumento no teor de AEDA na camada de 10-20  
128 cm. Conclui-se que há aumento no AEDA com o incremento das concentrações de K  
129 nos dois Latossolos, porém a intensidade varia com o tipo de solo.

130

131 Palavras-chave: colóides; adubação potássica; degradação estrutural

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

## 144 4.2 ABSTRACT

145 One of the main practices responsible for the performance of agricultural Paraná  
146 State is the nutrients supply via potassium (K) fertilization. However, the K can  
147 induce the spontaneous dispersion of the particles, especially the clay fraction. The  
148 objective of this study was to evaluate the relationship between the K fertilizer  
149 application and the spontaneous dispersion of the clay fraction in two Oxisols  
150 fertilized with three K rates: 0, 200 and 400 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O. Content of spontaneous clay  
151 dispersed in water (SCDW, %), cation exchange capacity (CEC), base saturation  
152 (V%), carbon (%), calcium and magnesium saturation (Ca and Mg), phosphorus (P),  
153 K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup> and H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> were evaluated. Principal components analysis (PCA) was  
154 carried out with the aid of software R. An increase in SCDW was observed due to the  
155 application of K<sub>2</sub>O to both soils in the 0-10 cm depth, but it was not possible to verify  
156 increase in SCDW content in the 10-20 cm depth. It was concluded that there is an  
157 increase in SCDW as the K<sup>+</sup> concentrations increases in Oxisols, but the intensity  
158 varies on the type of soil.

159 **Key words:** colloids; potassium fertilization; structural degradation

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

## 177 4.3 INTRODUÇÃO

178

179 O potássio (K) representa 2,6% dos elementos químicos que constituem a  
180 crosta terrestre (SOUZA; LAMEIRAS, 2012), sendo a silvita (KCl, com teor de 52,4%  
181 de K) e carnalita (KCl.MgCl<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O, com teor de 14,1% de K) os principais minerais  
182 (NASCIMENTO; LÁPIDO-LOUREIRO, 2009). Na indústria, o K é utilizado como  
183 componente de cerâmicas, fertilizantes, produtos químicos e farmacêuticos, sendo  
184 que 95% da produção mundial é destinada para a de fertilizantes, principalmente,  
185 nas formas de cloreto e sulfato de potássio (ROBERTS, 2005; SOUZA; LAMEIRAS,  
186 2012).

187 Na agricultura, um dos principais fatores que garante o bom desempenho da  
188 agricultura, nas condições tropicais e subtropicais, é a correção da acidez e o  
189 fornecimento de nutrientes no solo (LÁPIDO-LOUREIRO et al., 2009). Dentre os  
190 nutrientes exigidos pelas culturas, o potássio (K<sup>+</sup>) e o nitrogênio (N) são comumente  
191 os mais extraídos pelas plantas. No caso do K, o Brasil é o quarto maior consumidor  
192 (NASCIMENTO; LÁPIDO-LOUREIRO, 2009) e o valor médio de consumo é na  
193 ordem de 38 kg Mg<sup>-1</sup> de grãos para culturas anuais, como a soja [*Glycine max* (L.)  
194 Merrill]. A utilização do elemento é elevada, visto apresentar baixos níveis devido ao  
195 elevado grau de intemperismo, o que demanda doses elevadas doses do nutriente  
196 (PAULETTI et al., 2019).

197 Em condições edafoclimáticas distintas, a disponibilidade do K para as  
198 plantas varia em função da quantidade de minerais primários e secundários no perfil  
199 do solo e da ciclagem do nutriente são as principais fontes (WERLE et al., 2008), ou  
200 seja, a disponibilidade depende das formas de K disponível no sistema e da  
201 quantidade armazenada em cada uma dessas formas.

202 Por ser um cátion monovalente, o K pode induzir a dispersão espontânea  
203 das partículas do solo quando presente em excesso, devido ao aumento da  
204 espessura da dupla camada difusa (ARIENZO et al., 2012; MAHANTA et al., 2014).  
205 Dentre essas partículas, as da fração argila recebem maior atenção, pois nelas os  
206 fenômenos de superfície são intensificados em razão da maior área superficial  
207 específica. Essa característica faz com que elas sejam a fração mais sensível às  
208 variações físico-químicas do meio e, por isso, se dispersam e são transportadas com  
209 maior facilidade (WANG; KELLER, 2009; MACHADO et al., 2017).

210 Quando dispersa, a fração argila pode degradar a estrutura do solo pelo  
211 entupimento dos macroporos e aumento da densidade (PARADELO et al., 2013),  
212 além de facilitar o transporte de metais pesados, fosfatos e pesticidas para corpos  
213 d'água (MARTIN et al., 2016). Apesar dos potenciais danos, pouco se conhece  
214 sobre como a adubação potássica, utilizada em lavouras anuais, como a soja, pode  
215 induzir a dispersão espontânea da fração argila. Nesse sentido, a hipótese do  
216 presente estudo é que, dependendo do teor de argila e matéria orgânica, o aumento  
217 da concentração de  $K^+$  decorrente de altas doses aplicadas aumenta a dispersão  
218 espontânea da fração argila do solo.

219 O estudo teve como objetivo avaliar a relação entre a aplicação de altas  
220 doses de fertilizante potássico (KCl) e a dispersão espontânea da fração argila de  
221 dois Latossolos (LVe e LVAd) com diferentes classes texturais e teores de carbono  
222 orgânico (CO).

223

#### 224 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

225

226 A classe dos Latossolos é a principal encontrada no Estado do Paraná,  
227 sendo distribuído em 31% do território nacional (LIMA et al., 2012), Assim, foram  
228 escolhidos dois Latossolos (EMBRAPA, 2006) representativos: Latossolo Vermelho  
229 Amarelo distrófico (LVAd) e Latossolo Vermelho eutroférico (LVe), localizados  
230 respectivamente nos municípios de Ponta Grossa ( $25^{\circ}5'40''$  LS,  $50^{\circ}9'48''$  LO e  
231 altitude média de 956 m) e de Londrina ( $23^{\circ}11'44''$  LS,  $51^{\circ}10'35''$  LW, e altitude  
232 média de 585 m) que apresentavam os seguintes atributos químicos antes da  
233 aplicação dos tratamentos: LVAd – pH = 5,0, C = 25,2 g kg<sup>-1</sup>, P (Mehlich 1) = 8,1 mg  
234 dm<sup>-3</sup>, K = 0,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Ca<sup>2+</sup> = 3,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Mg<sup>2+</sup> = 2,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> =  
235 10,7 mg dm<sup>-3</sup>, Al<sup>3+</sup> = 0,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, H+Al = 5,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e CTC = 11,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>  
236 e LVe – pH = 4,8, C = 14,1 g kg<sup>-1</sup>, P (Mehlich 1) = 20,2 mg dm<sup>-3</sup>, K<sup>+</sup> = 0,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>,  
237 Ca<sup>2+</sup> = 4,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Mg<sup>2+</sup> = 1,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 16,6 mg dm<sup>-3</sup>, Al<sup>3+</sup> = 0,1 cmol<sub>c</sub>  
238 dm<sup>-3</sup>, H+Al = 5,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e CTC = 11,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

239 O clima de Ponta Grossa é caracterizado como quente e temperado (Cfb,  
240 segundo Köppen), cuja temperatura média é de 17,5 °C e pluviosidade total anual de  
241 1495 mm, enquanto em Londrina possui o subtropical úmido (Cfa, conforme a

242 classificação de Köppen), com temperaturas média de 21°C e precipitação média  
243 anual de 1635 mm.

244 O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, sendo os  
245 tratamentos três concentrações de óxido de potássio (K<sub>2</sub>O): 0, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup>  
246 com nove repetições aplicados a lanço antes do plantio da soja em sistema de  
247 plantio direto (SPD) consolidado com 10 anos de sucessão soja-trigo. A fonte de K  
248 utilizada foi o KCl (60% de K<sub>2</sub>O). Foram coletadas 20 subamostras em cada solo e  
249 em duas profundidades, 0-10 cm e 10-20 cm, após a colheita da soja, os quais  
250 apresentaram as seguintes características granulométricas (Tabela 8) e realizadas  
251 de acordo com Embrapa (1997).

252

253 **Tabela 8.** Granulometria dos solos dos municípios de Londrina (L) - Latossolo  
254 Vermelho eutroférico e Ponta Grossa (PG) - Latossolo Vermelho Amarelo distrófico  
255 fertilizados, coletados em 0-10 e 10-20 cm de profundidade.

Solo	Granulometria (g Kg <sup>-1</sup> )		
	Argila	Silte	Areia
	0-10 cm		
Londrina	680	110	210
P. Grossa	580	80	340
	10-20 cm		
Londrina	680	120	200
P. Grossa	570	100	330

256

257 Os solos foram peneirados em malha de 2 mm. Posteriormente, foram  
258 avaliados os teores de argila espontânea dispersa em água (AEDA) conforme  
259 descrito em Rengasamy (2002), CTC ( $\sum K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, H+Al$ ), saturação por bases  
260 [ $V\% = \sum(K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}/CTC) \times 100$ ], K trocável (K<sup>+</sup>), cálcio trocável (Ca<sup>2+</sup>), magnésio  
261 trocável (Mg<sup>2+</sup>) e alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>), carbono orgânico total (COT) e acidez  
262 potencial (H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>) de acordo com metodologias descritas em Embrapa (1997) e  
263 Donagema et al. (2011). Posteriormente, os teores de K, Ca e Mg trocável foram  
264 convertidos em saturação por Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> na CTC pela seguinte equação descrita  
265 em Eckert (1987) e Moreira et al. (2005).

266

$$\text{Saturação por K, Ca ou Mg (\%)} = \frac{\text{K, Ca ou Mg (cmol}_c \text{ dm}^{-3})}{\text{CTC}} \times 100$$

267 A análise de componentes principais (ACP) foi realizada com base na matriz  
268 de correlação dos dados, com auxílio do software R (ABDI; BEATON, 2017). O  
269 número de componentes plotados foi definido pelo critério de Kaiser, em que  
270 aqueles com variância maior que um foram utilizados. As doses de K<sub>2</sub>O dentro de  
271 cada tipo de solo foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

272

#### 273 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

274

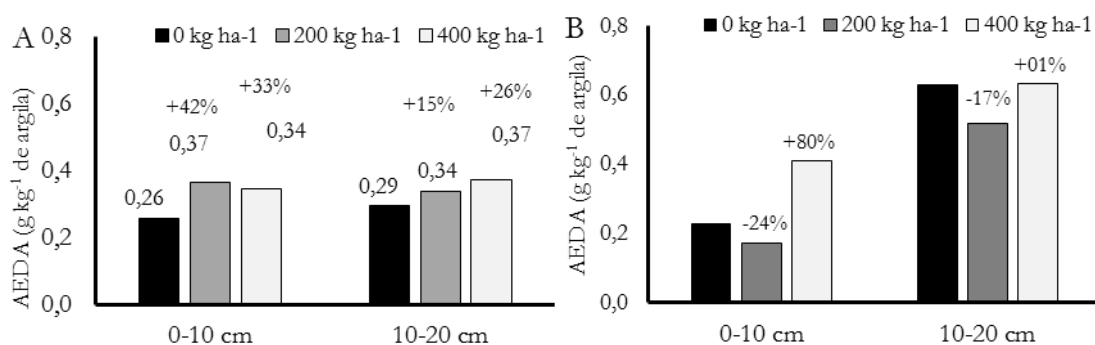
275 Os dois solos apresentaram teores baixos de AEDA no tratamento sem  
276 aplicação de K, e variaram de 0,25 a 0,29 g kg<sup>-1</sup> de argila no LVe de 0,23 a 0,63 g  
277 kg<sup>-1</sup>.de argila no LVAd (Figura 1). Esses valores são condizentes com a elevada  
278 estabilidade estrutural desses solos e corroboram os resultados de Reichert et al.  
279 (2009) com solos mais imteperizados, sobretudo dos microagregados (REATTO et  
280 al., 2008; BROSSARD et al., 2012), material oriundo da interação de minerais de  
281 caulinita e sesquióxidos metálicos com a matéria orgânica do solo.

282 Mesmo que os dois tipos de solos apresentem características mineralógicas  
283 distintas, os resultados de AEDA estão de acordo com Amezketa et al. (2003), que  
284 estudando 36 solos ilíticos da Espanha, observaram que os valores de AEDA  
285 variaram de 0 a 10 g kg<sup>-1</sup> de argila, e estão de acordo com a afirmativa da  
286 importância da influência da mineralogia sobre a microagregação e dispersão  
287 espontânea da fração argila. Adicionalmente, a baixa saturação por cátions  
288 monovalentes (K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>) pode favorecer a floculação e formação de  
289 microagregados, uma vez que a presença desses dois cátions em excesso eleva a  
290 espessura da porção difusa da dupla camada elétrica, intensificando as forças  
291 repulsivas entre as partículas de argila (MAHANTA et al., 2014).

292 Plaza et al. (2015) ao estudar o efeito da matéria orgânica (MO) e dos  
293 cátions trocáveis (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>) no potencial zeta de um solo do Sul da  
294 Espanha, constataram intensificação no desbalanço de cargas das partículas  
295 quando o íon Na<sup>+</sup> foi utilizado, em comparação ao Ca<sup>2+</sup> (bivalente). Carducci et al.  
296 (2016), nas condições dos trópicos avaliaram um Latossolo Vermelho Distroférico  
297 (LVd) sob diferentes manejos de solo (sistema de plantio direto, pastagem e  
298 vegetação nativa) e notaram que o teor de argila dispersa foi homogêneo entre as  
299 duas profundidades avaliadas (5-10 e 10-20 cm), o mesmo observado no presente

300 trabalho para o mesmo tipo de solo, fato esse não observado no LVAd, que  
 301 apresentou aumento no teor de AEDA (%) no perfil.

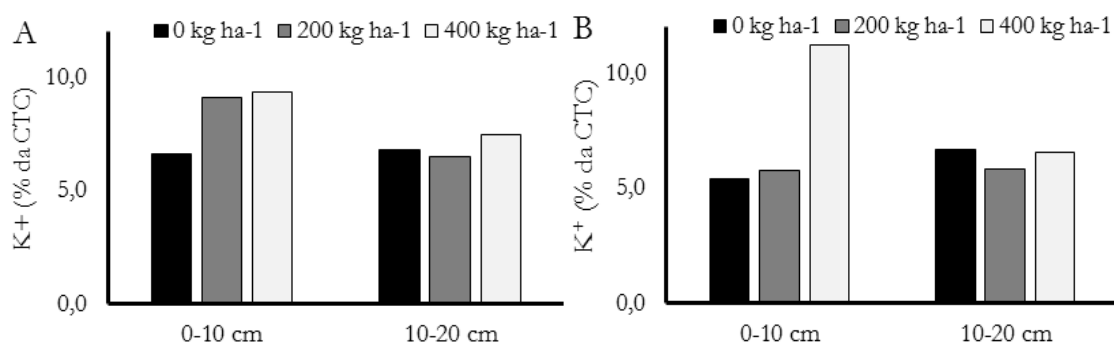
302



303

304 **Figura 1.** Teor de argila espontânea dispersa em água (AEDA) em função das  
 305 concentrações de K<sub>2</sub>O (0, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup>) em dois solos paranaenses [Londrina  
 306 – Latossolo Vermelho eutroférico, LVe e de Ponta Grossa – Latossolo Vermelho-  
 307 Amarelo distrófico, LVAd] coletados em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm).  
 308 Valores em porcentagem indicam a alteração relativa ao controle (sem aplicação de  
 309 K<sub>2</sub>O). Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

310



311

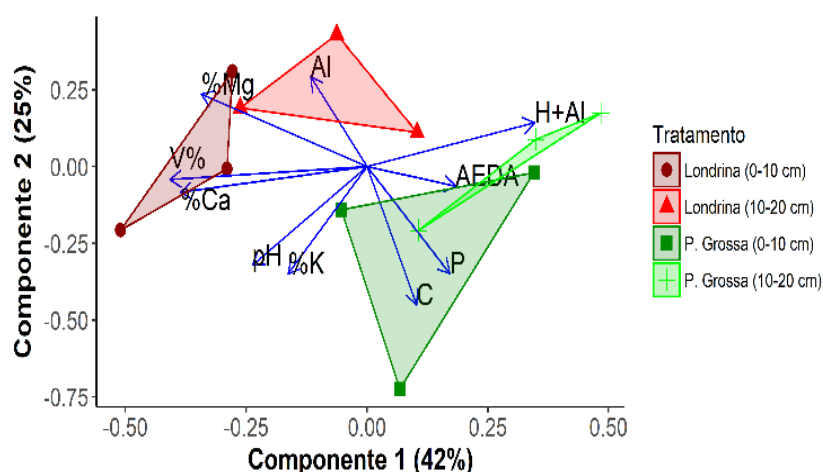
312 **Figura 2.** Teor de K trocável em função das concentrações de K<sub>2</sub>O (0, 200 e 400 kg  
 313 ha<sup>-1</sup>) em dois solos paranaenses [Londrina – Latossolo Vermelho eutroférico (LVE) e  
 314 de Ponta Grossa – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, LVAd] coletados em duas  
 315 profundidades (0-10 e 10-20 cm). Valores em porcentagem indicam a alteração  
 316 relativa ao controle (sem aplicação de K<sub>2</sub>O). Médias seguidas por letras distintas  
 317 diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

318

319 Houve aumento na AEDA com a aplicação de K<sub>2</sub>O no LVE, chegando a 42%  
 320 na camada de 0-10 cm e a 26% na de 10-20 cm. Com relação ao LVAd, observou-  
 321 se aumento de até 80% no teor de AEDA na camada de 0-10 cm, mas não foi

322 possível constatar aumento no teor de AEDA na camada de 10-20 cm (Figura 1).  
 323 Devido a mobilidade do  $K^+$  no perfil do solo (WERLE et al., 2008), e cabe destacar,  
 324 que essa variação na AEDA dentro dos dois tipos de solos e profundidades  
 325 estudadas esteve intimamente associada aos teores desse elemento no solo  
 326 (Figuras 1 e 2).

327 Marchuk et al. (2012), avaliando o efeito dos cátions trocáveis na estrutura  
 328 de um solo, observaram que, quando em excesso, o  $K^+$  pode levar ao aumento na  
 329 dispersão das partículas, com reflexos negativos sobre a estrutura. Para os dados  
 330 do presente estudo, as variações de 6,6 a 9,3% e de 5,4 a 11,2 % na camada de 0-  
 331 10 cm e de 6,5 a 7,5 % e 5,8 a 6,7 % na camada de 10-20 cm para os solos  
 332 localizados nos municípios de Londrina e Ponta Grossa, respectivamente, indicaram  
 333 que mesmo na ausência de aplicação de K, a saturação do nutriente na CTC foi alta  
 334 (Figura 2). Esses resultados corroboram Pauletti et al. (2019), que indicam que  
 335 valores acima de 3,0% de saturação, a concentração desse elemento já pode ser  
 336 interpretada como muito alta.



337  
 338 **Figura 3.** Análise de componentes principais em solos paranaenses nos municípios  
 339 de Londrina (Latossolo Vermelho eutroférico, LVe) e de Ponta Grossa (Latossolo  
 340 Vermelho Amarelo distrófico, LVAd) para as variáveis argila espontânea dispersa em  
 341 água (AEDA, %), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%),  
 342 carbono (%), saturação de cálcio e magnésio (Ca e Mg, %), fósforo (P, mg dm<sup>3</sup>),  
 343 potássio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>), Al<sup>3+</sup> e H+Al em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) e três  
 344 concentrações de K<sub>2</sub>O aplicadas (0,200 e 400 kg ha<sup>-1</sup>).

345  
 346

347 **Tabela 9.** Análise química dos solos paranaenses nos municípios de Londrina (A:  
 348 Latossolo Vermelho eutroférico) e Ponta Grossa (B: Latossolo Vermelho Amarelo)  
 349 em duas profundidades e três concentrações de K<sub>2</sub>O aplicadas (0,200 e 400 kg ha<sup>-</sup>  
 350 <sup>1</sup>).

Atributo	Unidade	Londrina		P. Grossa	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
pH (água)	-----	4.77	4.7	4.73	4.63
C	g kg <sup>-1</sup>	11.95	15.2	31.04	22.6
P (Melich)	mg kg <sup>-1</sup>	4.28	3.4	40.39	10.09
CTC	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	13.48	14.57	13.25	12.66
H + Al	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	5.34	6.92	6.71	7.09
V	%	60.37	52.74	49.48	44.24
Al	%	1.11	2.27	1.29	1.14
Ca	%	34.18	29.69	29.78	25.25
Mg	%	17.84	16.13	12.22	12.64

351  
352

353 Na análise de componentes principais (ACP), os dois primeiros  
 354 componentes explicaram 42% e 25% da variabilidade total, respectivamente. Assim,  
 355 foi possível sintetizar 67% da variabilidade dos resultados com a análise. Em relação  
 356 ao primeiro componente (42%), a AEDA esteve diretamente relacionada com o  
 357 aumento do P, COT, H+Al e inversamente relacionada com o aumento do K<sup>+</sup>, pH,  
 358 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e V%. Já no segundo componente (25%), a AEDA esteve diretamente  
 359 relacionada ao P, C, porcentagem de K<sup>+</sup>, pH, porcentagem de Ca<sup>2+</sup> e V% e  
 360 inversamente relacionada a porcentagem de Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> e H+Al (Figura 3).

361 O adequado agrupamento dos pontos com relação aos dois latossolos e  
 362 profundidades avaliadas, independente das doses de K<sub>2</sub>O aplicadas, revela que a  
 363 AEDA está predominantemente associada às características dos solos e  
 364 profundidade. Assim, como houve um adequado agrupamento dos dados para  
 365 ambas as áreas, independente da concentração aplicada, indica que o tipo de solo e  
 366 a profundidade são mais influentes na AEDA do que as doses do fertilizante  
 367 potássico. Esses resultados corroboram Almeida Neto et al. (2010), que não  
 368 obtiveram mudanças no teor de argila de amostras do horizonte B de um Latossolo  
 369 Vermelho-Amarelo distrófico coletado no município de Viçosa, Estado de Minas  
 370 Gerais sob influência de soluções com diferentes concentrações e proporções dos  
 371 íons Na<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup>.

372 Corrêa (2003) avaliou diferentes tipos de solos coletados em distintas  
373 condições edafoclimáticas, como Neossolo flúvico, Luvisolo, Planossolo Nátrico e  
374 Vertissolo Cromado, e observou que os Vertissolos foram os que apresentaram  
375 maior dispersão de argila, constatando a elevada influência do tipo e das  
376 características físicas e químicas dos solos sobre a dispersão de argila.

377 Além da provável influência da mineralogia dos dois tipos de Latossolo, o  
378 atributo químico mais contrastante entre os solos foi o teor de COT (Tabela 9),  
379 provavelmente, devido a variação de temperatura e condições hídricas dos locais  
380 amostrados, que alteram significativamente a dinâmica da MO no solo (SANTOS;  
381 CAMARGO, 1999). O P disponível variou entre os dois locais (Tabela 9), e ficou  
382 dentro das faixas indicadas como adequadas para os solos do Estado do Paraná  
383 (Pauletti et al., 2019). Cabe destacar, que esse efeito se deve às moléculas  
384 orgânicas que permitem a formação de pontes entre as partículas da fração argila  
385 (LEE et al., 2012), favorecendo a formação de agregados (Plaza et al., 2015) e  
386 inibindo sua dispersão espontânea no solo.

387 Observou-se que esse efeito foi mais pronunciado para o Latossolo Amarelo,  
388 em que o elevado COT na camada de 0-10 cm parece ter reduzido a AEDA, quando  
389 comparado a camada de 10-20 cm. No caso do LVe, essa constatação não foi  
390 verificada possivelmente devido à homogeneidade no COT entre as camadas  
391 (Tabela 9). Dentro de cada camada, foi evidente a tendência de aumento da AEDA  
392 pelo incremento da dose de K<sub>2</sub>O aplicada no Latossolo coletado em Londrina,  
393 enquanto essa tendência não foi observada para no coletado em Ponta Grossa  
394 (LVAd).

395

#### 396 4.6 CONCLUSÃO

397

398 Nos dois Latossolos (LVe e LVAd) do Estado do Paraná, as doses de potássio  
399 (K<sup>+</sup>) aumentaram a argila espontânea dispersa em água (AEDA), porém, a  
400 intensidade de resposta variou em função da profundidade avaliada (0-10 e 10-20  
401 cm) e dos atributos químicos do solo, principalmente o COT.

402

## 403 **5 CONCLUSÃO GERAL**

404 Conclui-se que para o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd)  
405 avaliado houve interação entre a aplicação de calcário e a aplicação de gesso  
406 agrícola, em que a associação dos dois promoveu o aumento da produtividade dos  
407 grãos de soja.

408 Para o Latossolo Vermelho distrófico (LVd) a interação entre calcário e  
409 gesso influenciou no teor de proteína e de óleo dos grãos de soja.

410 A interação calcário  $\times$   $K_2O$ , assim como a interação gesso  $\times$   $K_2O$  foram  
411 significativos para o aumento médio do teor de Ca nos grãos de soja.

412 O aumento das doses de  $K_2O$  nos solos LVe e LVAd proporcionam aumento  
413 dos teores de AEDA e a intensidade é influenciada pelos atributos químicos do solo,  
414 principalmente COT.

415

416

417 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

418

419

420 ABDI, H.; BEATON, D. **Principal component and correspondence analyses**  
421 **using**. 1<sup>st</sup> ed. Switzerland: springer international publishing; 2017.

422 ALMEIDA NETO, O.B.; MATOS, A.T.; MATOS, V.; LAMBERT, T.F.; DIAS, E.F.

423 Influência da qualidade da água no comportamento dispersivo da argila do

424 Latossolo-Vermelho-Amarelo. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.18, n.3, maio-

425 jun., 2010.

426 ALVA, A.K.; BLAMEY, F.P.C.; EDWARDS, D.G. & ASHER, C.J. An evolution of

427 aluminum indices to predict aluminum toxicity to plants grown in nutrient solutions.

428 Comm. **Soil Sci. Plant Anal.**, v.17, p. 1271-1280, 1986.

429 ALVA, A.K.; GASCHO, G.J. Differential leaching of cations and sulfate in gypsum

430 amended soils. **Communication Soil Science Plant Analyse**, New York, v. 22, p.

431 1195-1206, 1991.

432 ALVARENGA, M.I.N.; LOPES, A.S. Influência da adubação potássica no equilíbrio

433 de cátions em Latossolo Roxo distrófico, fase cerrado. **Pesquisa Agropecuária**

434 **Brasileira**, v.23, p.347-355, 1988.

435 AMEZKETA E.; ARAGUÉS, R.; CARRANZA, R.; URGEL., B. Chemical, spontaneous

436 and mechanical dispersion of clays in arid-zone soils. Spanish Journal of Agricultural

437 Research, n.4., p. 95-107, 2003.

438 ARIENZO C.A.; CHRISTEN E.W.; JAYAWARDANE, N.S.; QUAYLE, W.C. The

439 relative effect of sodium and potassium on soil hydraulic conductivity and implications

440 for winery wastewater management. **Geoderma**, n. 173, p.303-310, 2012.

441 ARSHAD, M.A.; GILL, K.S. Field pea response to liming of an acid soil under two

442 tillage systems. **Canadian Journal of Soil Science**, v.76, p.549-555, 1996.

443 BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.;

444 SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria**

445 **orgânica do solo**: Ecosistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Metrópole,

446 2008. p.7-18.

- 447 BROSSARD, M.; FREGONEZI, G.A.F.; GUIMARÃES, M.G.F.; MEDINA, C.C.;  
448 PASINI, A.; VILELA, L.; AYARZA, M. Analysis of an illustrative interaction between  
449 structural features and earthworm populations in Brazilian Ferralsols. **Comptes**  
450 **Rendus Geoscience**, v. 344, p. 41-49, 2012.
- 451 CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em  
452 sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.161-169,  
453 2000
- 454 CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Alterações  
455 químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação  
456 do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.275-  
457 286, 2003.
- 458 CAIRES, E.F.; CHUERI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de  
459 características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na  
460 superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de**  
461 **Ciência do Solo**, v.22, p.27-34, 1998.
- 462 CAIRES, E.F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F.J.; FERRARI, R.A.; MORGANO, M.A.  
463 Soybean yield and quality a function of lime and gypsum applications. **Scientia**  
464 **Agricola**, v.63, p.370-379, 2006.
- 465 CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no  
466 sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**,  
467 Campinas, v.59, n.2, p.213- 220, 2000.
- 468 CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no  
469 sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas,  
470 v.59, n.2, p.213- 220, 2000.
- 471 CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.  
472 Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características  
473 químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de  
474 plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.315-327,  
475 1999.
- 476 CAIRES, E. F. et al. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum  
477 applications. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 370-379, 2006.  
478

- 479 CAIRES, E.F.; HAW, J.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum  
480 additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern  
481 Brazil. **Soil Use and Management**, v.27, p.45-53, 2011.
- 482 CARDUCCI, C.A.; VITORINO, A.C.T.; SERAFIM, M.E.; SILVA, E.A. Aggregates  
483 morphometry in Latosol (Oxisol) under different soil managements systems. **Semina**  
484 **Ciências Agrárias**, Londrina, v.37, n.1, p.37-42, jan/fev. 2016.
- 485 CARMONA, F.C.; CONTE, O.; FRAGA, T.I.; BARROS, T.; PULVER, E.;  
486 ANGHINONI, I. Disponibilidade no solo, estado nutricional e recomendação de  
487 enxofre para o arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.345-  
488 355, 2009.
- 489 CASTRO, C.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; OLIVEIRA, F.A., MOREIRA, A.; JORDÃO, L.T.  
490 Adubação da soja: o ocaso do potássio. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA  
491 REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 32., 2011, São Pedro, SP. **Resumos**  
492 **Expandidos...** p. 307-309. Londrina: Embrapa Soja, 2011.
- 493 Comissão de química e fertilidade do solo – CQFS RS/SC. **Manual de adubação e**  
494 **calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre,  
495 Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 400 p., 2004.
- 496 CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra  
497 brasileira de grãos. v.7, n.4 – Safra 2019/2020 – Quarto levantamento, janeiro 2020.
- 498 CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; MENDONÇA, E.S.; RUIZ, H.A.; BASTOS, R.S. Atributos  
499 físicos, químicos e mineralógicos de solos da região de Várzea Sousa (PB). **Revista**  
500 **Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2, p.311-324, 2003.
- 501 COSTA, J. A. **Cultura da soja** / José Antonio Costa. Porto Alegre: I. Manica, J.A.  
502 Costa, 1996.
- 503
- 504 DONAGEMMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA,  
505 J.H.M. **Manual de métodos de análises de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa  
506 Solos, 2011.

- 507 ECKERT, D. J. **Soil test interpretations: Basic cations saturations ratios and**  
508 **sufficiency levels**. In: Brown, J. R. (Ed.) Soil testing: sampling, correlation,  
509 calibration, and interpretation. Madison: CSSA. p.53-64. 1987  
510
- 511 EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual**  
512 **de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- 513 **EMBRAPA. Tecnologias de sistema de produção – região central do Brasil,**  
514 2004. Disponível em: <  
515 <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: Jun.  
516 2017.
- 517 ERNANI, P.R.; BAYER, C. & ALMEIDA, J.A. Mobilidade vertical de cátions  
518 influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga  
519 variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 393-402, 2007.  
520
- 521 ERNANI, P.R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, 2008. 230  
522 p.  
523
- 524 FAGERIA, N. K. **The Use of Nutrients in Crop Plants**. Boca Raton: CRC Press.  
525 2009. 550p.
- 526 FAGERIA, N.K.; MOREIRA, N.K.; MORAES, L.A.C.; MORAES, M.F. Influence of  
527 lime and gypsum on yield and yield components of soybean and changes in soil  
528 chemical properties. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.45,  
529 p.271-283, 2014.
- 530 FAGERIA, N.K.; SINGH, H. Response of wheat to soil application of nitrogen and  
531 sulphur. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.1121-1126, 1982.
- 532 FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA (Febrapdp). Evolução  
533 da área de plantio direto no Brasil. 2018. Disponível em: <  
534 <https://febrapdp.org.br/download/area-PD-Brasil-e-estados.pdf> >. Acesso em: julho,  
535 2020.
- 536 FEHR, W.A.; CAVINESS, C.E. **Stages of Soybean Development**. Ames: Iowa State  
537 University, 1977. 11p. (Iowa Agriculture Experimental Station Bulletin, 80).
- 538 FERRAZ, L. C. C. B. As meloidoginoses da soja: passado, presente e futuro. In.  
539 SILVA, J. F. V.; MAZAFFERA, P.; CARNEIRO, R. G.; ASMUS, G. L. & FERRAZ, L.

- 540 C. C. B. **Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja**. Londrina,  
541 Embrapa Soja: Sociedade de Nematologia, 2001. 127p.
- 542 FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de  
543 íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções  
544 puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.2267-2276,  
545 1999.
- 546 FRANDOLOSO, J.F.; LANA, M.C.; FONTANIVA, S.; CZYCZA, R.V. Eficiência de  
547 adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. **Revista**  
548 **Ceres**, v.57, p.686-694, 2010.
- 549 HAVLIN, J.L.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L, BEATON, J.D. **Soil Fertility and**  
550 **Fertilizers; an introduction to nutrient management**. Upper Saddle River: Prentice  
551 Hall, 2004. 528p.
- 552 HICKS, C.R. **Fundamental Concepts in the Design of Experiments**, New York:  
553 Holt, Rinehart and Winston. 1973. 293p.
- 554 HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais.  
555 **Ciência Rural**, v.36, p.822-828, 2006.
- 556 JAWORSKI, C.A.; BARBER, S.A. Soil properties as related to potassium uptake by  
557 alfafa. **Soil Science**, v.86, p.37-41, 1957.
- 558 KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características químicas e físicas do solo afetadas  
559 por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do**  
560 **Solo**, v.19, p.395-401, 1995.
- 561 LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. **Fertilizantes;**  
562 **agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM. 655p. 2009.
- 563 LEE, B.J.; SHLAUTMAN, M.; TOORMAN, E.; FETTWEIS, M. Competition between  
564 kaolinite flocculation and stabilization in divalent cation solutions dosed with anionic  
565 polyacrylamide. **Water Research**, v. 46, p. 5696-5706, 2012.
- 566 LIMA V.C.; LIMA, M.R.; MELO, V.F. **Conhecendo os principais solos do Paraná:**  
567 **abordagem para professores do ensino fundamental e médio**. Curitiba:  
568 Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, núcleo estadual do Paraná, 2012. 18 p.

- 569 LIU, K. Current constrains in soybean food utilization and efforts to overcome them.  
570 IV WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE IV. IN: Proceedings..., p. 409-  
571 418, 1999.
- 572 MACHADO W.; MELO, T.R., TAVARES FILHO, J. Clay dispersion and loss in Oxisol  
573 treated with different concentrations of limestone. **Semina: Ciências Agrárias**, 38,  
574 3907-3914, 2017.
- 575 MAHANTA, K.K.; MISHNA, G.C.; KANSAL, M.L. Estimation of eclectic double layer  
576 thickness from linearized and nonlinear solutions of Poisson-Boltzman equation for  
577 single type ions. **Applied Clay Science**, 5, 1-7, 2012.
- 578 MAHANTA, K.K.; MISHNA, G.C.; KANSAL, M.L. Estimation of eclectic double layer  
579 thickness in the presence of two types of ions in soil water. **Applied Clay Science**,  
580 87, 212-218, 2014.
- 581 MALAVOLTA, E. Corretivos cálcicos, magnesianos e calco-magnesianos. In.:  
582 Manual de química agrícola: adubos e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres,  
583 1981. 596 p.
- 584 MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo Agronômica  
585 Ceres. 2006. 631p.
- 586 MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do Estado Nutricional**  
587 **das Plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para  
588 Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- 589 MARTIN, M.; STANCHI, S.; HOSSAIN, K.M.; HUQ, S.M.; BARBERIS, E. Potential  
590 phosphorus and arsenic mobilization from Bangladesh soils by particle dispersion.  
591 **Science of The Total Environment**, 536, 973-980, 2015.
- 592 MASCARENHAS, H.A.; TANAKA, R.T.T.; CARMELLO, C.A.A.; GALLO, P.B.;  
593 AMBROSANO, G.M.B. Calcário e potássio para a cultura da soja. **Scientia Agricola**,  
594 v.57, n.3, p.445-449, jul./set. 2000.  
595
- 596 MASCHIETTO, E. H. G. Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta  
597 fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto. 2009. 56 f. Dissertação  
598 (Mestrado em Agricultura) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa,  
599 2009.

- 600 MATHAN, K.K. Direct effect of magnesium, potassium and calcium on yield, protein  
601 content and Mg uptake by finger millet (*Eleusine coracana*) in acid soil. **Indian**  
602 **Journal of Agronomy**, New Delhi, v.40, n.4, p.609-612, 1995.
- 603 MATOS, T.S.; CIRQUEIRA, A.O.; DONAGEMMA, G.K.;POLIDORO, J.C. Lixiviação  
604 de cálcio, magnésio e potássio em colunas de um latossolo vermelho distrófico  
605 argiloso de RioVerde-GO em resposta a doses de óxido de magnésio combinadas  
606 com gesso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. 2007,  
607 Gramado-RS. **Anais**. CBCS. Gramado-RS, 2007.
- 608 MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T.;  
609 ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira** - Potafos :Piracicaba, 2006.  
610 841 p.  
611
- 612 MINTZ, S.W.; TAN, C. DU BOIS, C.M. The significance of soy. In: **The world of soy**.  
613 DU BOIS, C.M.; TAN, C.; MINTZ, S. (ed), p. 1-22, 2012.
- 614 MIRANDA, L.N.; MIRANDA, J.C.C.; REIN, T.A.; GOMES, A.C. Utilização de calcário  
615 em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa**  
616 **Agropecuária Brasileira**, v.40, p.563-572, 2005.
- 617 MIRANDA, L.N.; MIRANDA, J.C.C.; REIN, T.A.; GOMES, A.C. Utilização de calcário  
618 em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa**.  
619 **Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.6, p.563-572, jun. 2005.
- 620 MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & SANTOS, J.C.F. Effects of addition of crop residues  
621 on the leaching of Ca and Mg in Oxisol. In INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON  
622 PLANTSOIL INTERACTIONS AT LOW pH 4., Belo Horizonte, 1996. Abstracts. Belo  
623 Horizonte, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.8.
- 624 MOREIRA, A.; CARVALHO, J.G.; EVANGELISTA, A.R. Efeito de doses de enxofre  
625 na produção e composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,  
626 v.32, p.533-538, 1997.
- 627 MOREIRA, A.; EVANGELISTA, A.R.; CARVALHO, J.G. Efeito de fontes e doses de  
628 enxofre na produção e composição mineral do trevo branco. **Pesquisa**  
629 **Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1137-1142, 1998.
- 630 MOREIRA, A.; CARVALHO, J.G.; EVANGELISTA, A.R. Influência da relação cálcio:

- 631 magnésio do corretivo na nodulação, produção e composição mineral da alfafa.  
632 **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.249-255, fev.1999.
- 633 MOREIRA, A.; FAGERIA, N.K. Liming influence on soil chemical properties,  
634 nutritional status and yield of alfalfa grown in acid soil. **Revista Brasileira de**  
635 **Ciência do Solo**, v.34, p.1231-1239, 2010.
- 636 MOREIRA, A.; MORAES, L.A.C.; FAGERIA, N.K. Variability on yield, nutritional  
637 status, soil fertility, and potassium-use efficiency by soybean cultivar in acidic soil.  
638 **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.46, p.2490-2508, 2015.
- 639 NAHASS, S.; SEVERINO, J. **Calcário Agrícola no Brasil**. Rio de Janeiro:  
640 CETEM/MCT, 2003. (CETEM/MCT. Série Estudos e Documentos, 55). 79p.
- 641 NASCIMENTO, M.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. **O potássio na agricultura**  
642 **brasileira: fontes e rotas alternativas**. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED,  
643 R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). Fertilizantes; agroindústria e sustentabilidade. Rio  
644 de Janeiro: CETEM. p.305-335. 2009.  
645
- 646 NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Determination of total nitrogen in plant material.  
647 **Agronomy Journal**, v.65, p.109-112, 1972.
- 648 NETO, J.B.F. Perspectivas futuras da cultura da soja no Brasil: produção,  
649 produtividade, expansão de área. In: PROCEEDINGS VII WORLD SOYBEAN  
650 RESEARCH CONFERENCE - IV INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND  
651 UTILIZATION CONFERENCE – III Congresso Mundial da Soja, 2004, p.1203.
- 652 NICHOLS, K.A.; TORO, M. A whole soil stability index for evaluating soil aggregation.  
653 **Soil and Tillage Research**, 99-104, 2011.  
654
- 655 NICOLODI, M.; ANGHIONONI, I.; GIANELLO, C. Indicadores da acidez do solo para  
656 recomendação de calagem no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de**  
657 **Ciência do Solo**, v. 32, p.237-247, 2008.
- 658 NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e a atividade de  
659 arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do**  
660 **Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 655-663, 2003.  
661

- 662 NOVOZAMSKY, I.; HOUBA, V.J.G. VAN ECK R.; VAN VACK, W. Novel digestion  
663 technique for multi-element plant analysis. **Communications in Soil Science and**  
664 **Plant Analysis**, v.14, p.239-248, 1983.
- 665 OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A. **Potássio: cuidados para a**  
666 **manutenção do equilíbrio nutricional da soja**. Londrina, EMBRAPA, folder  
667 04/2018.
- 668 PARADELO, R.; VAN OORT, V. ; CHENU, C. Water-dispersible clay in bare fallow  
669 soils after 80 years of continuous fertilizer addition. **Geoderma**, 40-41, 2013.
- 670 PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V (COORD). **Manual de Adubação e Calagem para o**  
671 **Estado do Paraná**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Estadual  
672 Paraná. 482. 201 p.
- 673 PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A.C.V. Efeitos em  
674 longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista**  
675 **Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.495-505, 2014.
- 676 PEARSON, R.W. Soil acidity and liming in the humid tropics. Cornell, International  
677 Agriculture, 1975. 66p. (Bulletin,30)
- 678 PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. Piracicaba: FEALQ,  
679 2009. 350p.
- 680 PIPOLO, A.E.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; BALBINOT JUNIOR, A.A.;  
681 DEBIASI, H.; MANDARINO, J.M.G. Teores de óleo e proteína em soja: fatores  
682 envolvidos e qualidade para a indústria. **COMUNIDADE TECNICO 86**. ISSN 2176-  
683 2889. Londrina, PR. Maio, 2015
- 684 PLAZA, I.; ONTIVEROS-ORTEGA, A.; CALERO, J.; ARANDA, V. Implication of zeta  
685 potential and surface free energy in the description of agricultural soil quality: effect  
686 of different cations and humic acids on degraded soils. **Soil & Tillage Research**,  
687 146-148, 2015.
- 688 PÖTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio  
689 direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.675-684, 1998

- 690 PRADO, R.M. A calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: Revisão de  
691 literatura. **Revista de Biociência**, Taubaté, v.9, n.3, p. 7-16, jul-set., 2003.
- 692 QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto  
693 Agronômico, 2000. 111p.
- 694 QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B, van; GALLO, P.B.; Mascarenhas, H.A.A. Respostas da  
695 soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa**  
696 **Agropecuária Brasileira**, v.28, p.373-383, 1993.
- 697 QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A. Respostas da  
698 soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa**  
699 **Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.3, p.375-383,1993
- 700 RAIJ, B. V **Gesso na Agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 233p.
- 701 RAIJ, B. van. **Gesso na Agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas,  
702 2008. 233p.
- 703 RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. & ABREU, C.A. Os métodos de  
704 análise química do sistema IAC de análise de solo no contexto nacional. In: RAIJ, B.  
705 van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H., eds. **Análise química para avaliação da**  
706 **fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2001.  
707 p.5-39
- 708 RAIJ, B.V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico/ Fundação IAC,  
709 2008. 233p.
- 710 RAIJ, B.VAN.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C.  
711 **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed.  
712 Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, Fundação IAC, 1997. 285p.
- 713 RAMOS, B.Z.; TOLEDO, J.P.V.F.; LIMA, J.M.; SERAFIM, M.E.; BASTOS, A.R.R.;  
714 GUIMARÃES, P.T.G.; COSCIONE, A.R. Doses de gesso em cafeeiro: influência dos  
715 teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho  
716 distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1018-1026, 2013.
- 717 REATTO, A; BRUAND, A. , A.; A.; MARTINEZ, E.S.; MULLER, .; SILVA, E.M.  
718 CARVALHO JUNIOR, A.O.; BROSSARD, M. Variation of the kaolinite and gibbsite

- 719 content at regional and local scale in Latosols of the Brazilian Central Plateau.  
720 **Comptes Rendus Geoscience**. 340:741-748, 2008.
- 721 RENGASAMY, R. Clay dispersion, pp. 200-210, In 'Soil Physical Measurement and  
722 Interpretation for Land Evaluation' (McKenzie BM et al Eds.). **CASIRO Publishing,**  
723 **Collingwood**, 2002.
- 724 RIBEIRO, B.T.; LIMA, N.C.; OLIVEIRA, G.C. Aggregate breakdown and dispersion of  
725 soil samples amended with sugarcane vinasse. **Scientia Agricola**. v.70, n.6, p.435-  
726 441, 2013.
- 727  
728 RODRIGUES, J.F.; GUEDES, G.A.A.; FERREIRA, M.M.; EVANGELISTA, A.R. Efeito  
729 de calcário-gesso agrícola no crescimento e nutrição mineral de *Sthylosantes*  
730 *macrocephala* M.B. Ferr & S. Costa. **Ciência e Prática**, v.17, 141-145, 1993.
- 731 ROBERTS, T. L. World reserves and productions of potash. In: YAMADA, T.;  
732 ROBERTS, T. L. (Eds.). Potássio na Agricultura Brasileira. Piracicaba: Potafós. p.1-  
733 20. 2005.  
734
- 735 ROSA JÚNIOR, E.J.; MARTINS, R.M.G.; ROSA, Y.B.C.J.; CREMON, C. Calcário e  
736 gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três  
737 sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.36, p.37-44,  
738 2006.
- 739 ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.R.; MAIA, L.C.; NAKAGAWA, J. Respostas de soja  
740 ao magnésio do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.47-54, 1992.
- 741 SALET, R.L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R.A. Atividade de alumínio na solução  
742 de um solo no sistema plantio direto. **Revista Científica Unicruz**, Cruz Alta, v.1, p.9-  
743 13, 1999.
- 744 SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo;  
745 ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Editora Genesis. 1999. 491p.  
746
- 747 SFREDO, G.J. Soja no Brasil: **Calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina:  
748 Embrapa Soja, 2008. 148 p. (Documentos 305).

- 749 SIBALDELLI, R.N.R. Boletim Agrometeorológico da Embrapa Soja Londrina – 2018.  
750 Embrapa Soja, 2019. 30 p.
- 751 SIBALDELLI, R.N.R. Boletim Agrometeorológico da Embrapa Soja Londrina – 2017.  
752 Embrapa Soja, 2018. 29 p.
- 753 SIBALDELLI, R.N.R. Boletim Agrometeorológico da Embrapa Soja Londrina – 2016.  
754 Embrapa Soja, 2017. 30 p.
- 755 SILVA, N.M.; RAIJ, B.van; CARVALHO, L.H.; BATAGLIA, O.C. & KONDO, J.I.  
756 Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do  
757 algodão. **Bragantia**, 56:389-401, 1997.
- 758 SMITH, C.B. Sweetcorn growth responses and leaf concentrations as affected by  
759 lime types and fertilizer treatments in a five-year study. **Journal of the American**  
760 **Society for Horticultural Science**. Alexandria, v.104, n.4, p.572-577, 1984.
- 761 SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo decorrentes da  
762 aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém  
763 implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.675-688, 2008.
- 764 SOUSA, D. M. G. de; CARVALHO, L. J. C. B.; MIRANDA, L. N. de. Correção da  
765 acidez do solo. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados**. São Paulo: Nobel,  
766 1987. p. 99-127.
- 767 SOUZA, A.L.; LAMEIRAS, F. S. Efeito da moagem de alta intensidade e da  
768 irradiação gama sobre a liberação de potássio da moscovita. Engenharia na  
769 Agricultura 20:501-511. 2012  
770
- 771 SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso do gesso em solos do Cerrado**.  
772 Planaltina, DF: Embrapa, 2005. (Circular técnica, 32).
- 773 SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Cerrado: **Correção do solo e adubação**. 2.ed.  
774 Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.
- 775 SOUZA, F.R.; ROSA JUNIOR, E.J.; FIETZ, C.R.; BERGAMIN, A.C.; ROSA, Y.B.C.J.;  
776 ZEVIANI, W.M. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois  
777 sistemas de manejo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, p.1717-1732, 2012.

- 778 TEJADA, M.; MORENO, J.L.; HERNANDEZ, M.T; GARCIA, C. Application of two  
779 beet vinasse forms in soil restoration: effects on soil properties in arid environment in  
780 Southern Spain. **Agriculture Ecosystems Environment**, n.119, 289-298, 2007.  
781 TPS. **Tecnologias de Produção de Soja na Região Central do Brasil 2012/2013**.  
782 Londrina: Embrapa Soja, 2013. 255p.
- 783 VITTI, C.G.; LUZ, P.H.C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A.S.; SERRANO, C.G.E. **Uso do**  
784 **gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008. 104p.
- 785 VITTI, G.C.; FAVARIN, J.L.; GALLO, L.A.; PIEDADE, S.M.S.; FARIA, M.R.M.;  
786 CICARONE, F. Assimilação foliar de enxofre elementar pela soja. **Pesquisa**  
787 **Agropecuária Brasileira**, v.42, n.2, p.225-229, 2007.
- 788 VITTI, G.C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta  
789 produtividade da soja. Potafós, INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS – Encarte técnico,  
790 Nº 90- jun, 2000.
- 791 WANG, P.; KELLER, A.A. Sorption and desorption of atrazine and diuron onto water  
792 dispersible soil primary size fractions. **Water Research**, n.43, 448-456, 2009.
- 793 WERLE, R.; AROYO, G.R.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da  
794 textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do**  
795 **Solo**, 2008.
- 796 ZAMBROSI, F .C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola  
797 e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência**  
798 **Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 110-117, 2007.
- 799 ZANDONÁ, R.R.; BEUTLER, A.N.; BURG, G.M; BARRETO, C.F.; SCHMIDT, M.R.  
800 Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico  
801 em milho e soja. **Revista de Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.45, n.2,  
802 p.128-137, abr-jun.2015.
- 803 ZAPPAROLI, R.A.; BONADIO, M.L.; GOMES, C.J.A.; NASCIMENTO, D.M.D.;  
804 MARCHIONE, M.S.; BERNA, R.; CASTRO, A.M.C. Associação calcário e gesso na  
805 cultura da soja e nas características químicas do solo com alta saturação em  
806 alumínio. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 6, n. 4, p. 74- 84, 2013.