



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

RONALDO DO NASCIMENTO

**CALAGEM E GESSAGEM COM E SEM INCORPORAÇÃO
EM LATOSSOLO VERMELHO SOB PLANTIO DIRETO**

Londrina
2018

RONALDO DO NASCIMENTO

**CALAGEM E GESSAGEM COM E SEM INCORPORAÇÃO
EM LATOSSOLO VERMELHO SOB PLANTIO DIRETO**

Tese de Doutorado apresentada ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Londrina, como requisito obrigatório à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães

Londrina
2018

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

Nascimento, Ronaldo do.

Calagem e gessagem com e sem incorporação em latossolo vermelho sob plantio direto / Ronaldo do Nascimento. - Londrina, 2018.
69 f.

Orientador: Maria de Fátima Guimarães.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2018.
Inclui bibliografia.

1. Calagem - Tese. 2. Gesso Agrícola - Tese. 3. Recomendações de Gesso - Tese. I. Guimarães, Maria de Fátima . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

RONALDO DO NASCIMENTO

**CALAGEM E GESSAGEM COM E SEM INCORPORAÇÃO EM
LATOSSOLO VERMELHO SOB PLANTIO DIRETO**

Tese de Doutorado apresentada ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Londrina, com o requisito obrigatório à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Maria de Fátima Guimarães
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Pesquisador Dr. Adilson de Oliveira Junior
Embrapa Soja

Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Muller
Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná –
UNICENTRO

Profª. Dra. Adriana Pereira da Silva
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Profª. Dra. Marla Alessandra Araújo
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 29 de março de 2018.

Aos meus pais Ivone e Veroni do Nascimento, pelo amor, apoio, respeito e principalmente pelo exemplo de dedicação e garra. Ao meu filho Ronaldo do Nascimento Junior. Que me fortalecem nos momentos difíceis.

Dedico este trabalho.

Agradecimentos

Primeiramente à Deus pela saúde, força e sabedoria para alcançar meus objetivos.

A minha família, minhas irmãs Tatiane e Eliane do Nascimento, em especial ao meus pais Ivone e Veroni do Nascimento, que independente do grau de escolaridade sempre acreditaram na educação, me apoiando incondicionalmente em todos os momentos.

Ao meu filho Ronaldo do Nascimento Junior e a minha esposa Marcia Josiane Salles Severo, que estiveram ao meu lado nos momentos difíceis, e fazem parte da realização deste sonho.

Em especial aos meus orientadores, Maria de Fátima, Marcelo Muller e Adilson de Oliveira Junior, pela incansável e inabalável ajuda e dedicação ao longo de minha trajetória, e principalmente por acreditarem em meu potencial.

Ao doutor José Salvador Simoneti Foloni pelo companheirismo e ajuda.

Aos meus amigos Leandro Michalovicz, Marcelo Vicensi, José Victor Freitas dos Santos, que a muito tempo tem sido quase irmãos, Paulo Jorge Harmuch, Allan Higashi, Douglas Noguero, Felipe Lira, aos meus cunhados Jair de Souza e Rodrigo Alves, pela ajuda e companheirismo.

A Universidade Estadual de Londrina (UEL), pela oportunidade da realização dos trabalhos e do curso. Aos docentes pelo conhecimento e dedicação.

A Embrapa soja, que sempre esteve de portas abertas para realização do trabalho. Em especial, ao Joviano Jacson Kleinert e Mariana Germano, pelo apoio e compreensão em todas as horas. As equipes de campo, “Zucca e Ademar”, também aos demais colaboradores pela ajuda.

A UEL e a Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

NASCIMENTO, Ronaldo. **Calagem e gessagem com e sem incorporação em latossolo vermelho sob plantio direto**. 2018. 69 p. Tese de Doutorado (Doutor em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

Resumo

O Brasil possui grande potencial produtivo, porém, há predominância de solos naturalmente ácidos e pouco férteis, intensificados pelo cultivo, são os fatores que tem limitado a obtenção de maiores produtividades. Majoritariamente, as áreas cultivadas com plantas anuais utilizam o sistema de plantio direto, que minimiza o revolvimento do solo, limitando a correção somente nas camadas superficiais, principalmente nas operações de calagem. Como alternativa a ausência do revolvimento tem se utilizado algumas técnicas, com destaque o uso de gesso agrícola, elevando a fertilidade ao longo do perfil do solo. Porém ainda não estão claros os critérios da intervenção mecânica, bem como, o uso de outras técnicas para correção do solo no plantio direto. Assim, o trabalho tem por objetivo estudar o efeito da calagem e gessagem, aplicados em superfície e incorporados ao solo, avaliando os atributos químicos do solo e das folhas das plantas, bem como, a produtividade das culturas. O experimento foi conduzido entre os anos de 2010 e 2013, desenvolvido no município de Londrina/PR, sob um Latossolo Vermelho eutroférico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial com um tratamento adicional como testemunha, $4 \times 2 + 1$. Os tratamentos foram compostos por quatro doses de gesso agrícola, conforme as recomendações mais difundidas atualmente: a) 0, b) $0,35 \text{ Mg ha}^{-1}$, de acordo com a necessidade de enxofre das culturas, c) 2 Mg ha^{-1} de acordo com a porcentagem de argila e d) 4 Mg ha^{-1} , de acordo com a CTC e o V% do solo, sendo aplicados em superfície sendo manejados de duas formas: com e sem incorporação, ambas com aplicação manual, já a incorporação no solo foi realizada com o uso de uma grade aradora de discos a 0,2 m de profundidade, além de mais um tratamento testemunha, sendo que a exceção da testemunha, as demais receberam 2 Mg ha^{-1} de calcário magnesiano. Os cultivos estabelecidos foram: soja, girassol e trigo. Foram avaliados os teores de nutrientes do solo e das folhas das plantas e a produtividade das culturas. A aplicação combinada de calcário e gesso elevaram os teores de cálcio, magnésio bem como as suas saturações na CTC. Aumentaram a saturação por bases e a disponibilidade de fósforo. Além de corrigir o pH e reduzindo a acidez ativa. As crescentes doses de gesso elevaram os teores de cálcio no solo e a saturação na CTC a curto prazo, e reduziram os teores de magnésio observado

nas amostragens dos três anos avaliados, assim como sua saturação na CTC, da mesma forma que doses crescentes de gesso elevaram a relação Ca/Mg, bem como os teores de sulfato no solo. A incorporação foi mais eficiente que a aplicação superficial na correção do pH, no aumento dos teores de cálcio e magnésio. Em geral, os teores nas folhas das plantas tiveram pequenos acréscimos com a calagem, possivelmente devido a pequena dose recomendada no início do experimento. As doses de gesso na média das culturas, reduziram os teores de magnésio e elevaram os teores de enxofre nos tecidos. A adição de calcário e gesso elevaram as produtividades em relação a testemunha, já as doses de gesso foram insignificantes na produtividade das culturas. A aplicação superficial foi mais produtiva em relação a incorporada, indicando que a correção em superfície se apresenta como a melhor forma de correção do solo no sistema plantio direto.

Palavras-chave: Calagem. Gessagem. Eficiência técnica. Recomendação de gesso.

NASCIMENTO, Ronaldo. **Liming and phosphogypsum with and without incorporation in Red Latosol under no tillage**: 2018. 69 p. Doctoral thesis (Doctor in agronomy) Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

Abstract

Brazil has great productive potential, however, there is a predominance of naturally acidic and poorly fertile soils, intensified by intense field cultivation, are the factors that have limited the attainment of greater yield crops. Mostly, the cultivated areas use the no-tillage system, that minimizes the soil stirring, limiting the correction only in the superficial soil layers, mainly in liming operations. Alternatively, the absence of the stirring has been used some techniques, with emphasis on the use of phosphogypsum, increasing fertility along the soil profile. However, the yardstick of mechanical intervention are still unclear, as well as, the use of other techniques in no-tillage soil correction. Thus, the objective of the work is to effect of liming and phosphogypsum applied into the soil on surface and incorporated, evaluating the chemical attributes of the soil and leaves tissue of the plants, as well as the productivity of field crops. The experiment was conducted between 2010 and 2013 years, is located in the city of Londrina/PR, in an Typic Eutrothox. The experimental design was in randomized blocks, in a factorial scheme with an additional as a control treatment, $4 \times 2 + 1$. The treatments were composed four doses of phosphogypsum, according to the most widespread recommendations currently: a) 0, b) 0.35 Mg ha^{-1} , according to the sulfur cultures of the requirement, c) 2 Mg ha^{-1} , according to percentage clay on soil, d) 4 Mg ha^{-1} , according an ECE and V%, applied on surfaces being handled in two ways: with and without incorporation, both ways with manual application, the incorporation in the soil was performed using a disc harrow with 0.2 m deep work, in addition to one more control treatment, with the exception of the control, the others treatments received 2 Mg ha^{-1} of magnesian limestone. Are crops were sown: soybean, sunflower and wheat. Soil chemical nutrient contents were evaluated and of the leaves of plants and the yield crops. The combined application of limestone and gypsum increased on the leaf calcium, magnesium as well as its saturations in ECE. They increased the base saturation and the phosphorus availability. In addition to correcting the pH and reducing active acidity. The increasing of gypsum rates increased the soil calcium and ECE taken for calcium, in short period, and reduced the magnesium content, observed in the samples of the three years evaluated, as well as its saturation in ECE, the same way that increasing doses of gypsum increased the Ca/Mg relation, as well as the levels of sulfate in the soil. The incorporation was

more efficient than the superficial application on the pH correction, in the increase of calcium and magnesium. Generally, the contents in the leaves of the plants had small additions with the liming, possibly due to the small dose recommended at the beginning of the experiment. The phosphogypsum rates in crops, reduced magnesium content and increased sulfur tissues content. The addition of limestone and gypsum increased the yields relative to the control, whereas the gypsum rates were insignificant in the yield of field crops. Application on the surface was more productive of the incorporated treatment, indicating that the correction on the surface is presented as the best form of correction of the soil in the no-tillage system.

Keywords: Liming. Phosphogypsum application. Technical efficiency. Phosphogypsum recommendation. Yield crops.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Reação do calcário no solo. Fonte: ALCARDE (2005).	16
Figura 2. Médias históricas e temperatura média mensal, além do acumulado mensal das precipitações durante o experimento e as médias mensais históricas entre 1976-2014 em Londrina-PR (NASCIMENTO, 2018).	34

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização granulométrica do solo.....	35
Tabela 2. Análise química do solo antes da implantação dos tratamentos.....	35
Tabela 3. Tratamentos que compoem o experimento de calagem e gessagem com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).....	36
Tabela 4. Análises de variância e médias de pH (CaCl ₂) e H+Al, dos solos nos anos de 2011, 2012 e 2013, sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).....	40
Tabela 5. Análises de variância e médias de saturação de bases (V%) e fósforo (P), dos solos nos anos de 2011, 2012 e 2013, sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).....	42
Tabela 6. Análises de variância e médias de cálcio (Ca ²⁺) e magnésio (Mg ²⁺), dos solos nos anos de 2011, 2012 e 2013, sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).....	44
Tabela 7. Análises de variância e médias de saturação cálcio na CTC (Ca/T) e magnésio na CTC (Mg/T), dos solos nos anos de 2011, 2012 e 2013, sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).....	47
Tabela 8. Análises de variância e médias da relação cálcio/magnésio (Ca/Mg) e teores de sulfato (S-SO ₄), dos solos nos anos de 2011, 2012 e 2013, sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).....	49
Tabela 9. Análises de variância e médias dos teores N, P, K, Ca, Mg e S em folhas de trigo (2010), soja e girassol (2011), sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).....	51
Tabela 10. Análises de variância e médias dos teores N, P, K, Ca, Mg e S em folhas de trigo (2012), e girassol (2013), sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).....	53
Tabela 11. Produtividade do trigo (safras 2010 e 2011), da soja (safra 2010/11) e do girassol (safra 2011/12), sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).....	55
Tabela 12. Produtividade do trigo (safra 2012), da soja (safra 2012/13) e do girassol (safra 2013), sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).....	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1. O SISTEMA PLANTIO DIRETO	14
2.2. ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO PELA CALAGEM	15
2.3. ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO PELA GESSAGEM	17
2.4. APLICAÇÃO SUPERFICIAL E INCORPORADA	24
3. CAPITULO I – CALAGEM E GESSAGEM COM E SEM INCORPORAÇÃO EM LATOSSOLO VERMELHO SOB PLANTIO DIRETO	28
Resumo	28
Abstract	30
3.1. INTRODUÇÃO	32
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	34
3.2.1. Caracterização da área e delineamento experimental	34
3.2.2. Tratamentos	35
3.2.3. Cultivos, tratos culturais e produtividade	36
3.2.4. Coleta e análises químicas de solo	37
3.2.5. Coleta e análises químicas de tecido foliar	38
3.2.6. Estatística	38
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.3.1. Atributos químicos do solo	39
3.3.2. Atributos químicos do tecido foliar das culturas	50
3.3.3. Produtividade	54
3.4. CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS	57

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda mundial por alimentos tem depositado forte pressão no setor agrícola, que por sua vez tem aumentado seus investimentos, almejando maiores produtividades. Além disso, a expansão das fronteiras agrícolas, principalmente em áreas com predisposição à degradação, à perda de solo, áreas com problemas de déficit hídrico, solos ácidos e de baixa fertilidade natural, encontradas em grande parte do Brasil têm exigido grandes esforços dos setores técnico e científico.

Junto as novas fronteiras agrícolas, também há redução na fertilidade dos solos cultivados, elevação na acidez e saturação por alumínio e manganês. Com isso, uma série de incentivos foram lançados, almejando a recuperação dos solos, com um dos maiores enfoques para a correção da acidez através do uso do calcário. A partir disso foram criadas inúmeras tecnologias de produção, com a introdução de diferentes cultivos, cultivares e tecnologias de produção, objetivando a maximização do uso do solo. Atualmente, os sistemas de produção utilizam diversas técnicas visando elevar a produtividade, entre elas está o manejo adequado do solo, destacando-se o sistema plantio direto (SPD), adotado por grande parte dos produtores já nos anos de 1970.

O SPD sem dúvidas revolucionou a agricultura nacional, garantindo estabilidade de produção, melhorando a qualidade estrutural do solo, além de ser importante ferramenta conservacionista. Uma das mais importantes premissas do SPD é o mínimo revolvimento do solo, aumentando a deposição e o acúmulo de matéria orgânica na superfície, elevando o teor de carbono total, a capacidade de troca de cátions e a disponibilidade de nutrientes, bem como, a atividade microbiana e o poder tampão do solo. Além disso, reduz os custos operacionais com o revolvimento na correção da acidez do solo.

Com o SPD há formação de uma camada rica em matéria orgânica, localizada na superfície de solo criando condições ótimas ao desenvolvimento radicular, que por muitas vezes concentram as raízes das plantas, limitando a exploração de camadas mais profundas do solo, as quais possuem menor concentração de nutrientes, além da presença de elementos tóxicos as raízes como o alumínio e o hidrogênio. Essas condições levam a menor absorção e transporte de nutrientes reduzindo a produtividade das culturas.

O uso do calcário eleva o pH do solo, reduzindo a atividade do hidrogênio, alumínio e do manganês, tóxicos às raízes das plantas, fornecendo cálcio e magnésio, aumentando a disponibilidade de nitrogênio, fósforo e potássio, sendo o mais importante corretivo de acidez de solo. No SPD a calagem é realizada em superfície, limitando a

profundidade de alcance, uma vez que à baixa solubilidade do calcário, bem como a correção se dá a poucos centímetros no solo, não reduzindo a toxidez de elementos como o Al^{3+} , nem elevando os teores de cálcio e magnésio, abaixo de 0,2 metro. Assim, muitos trabalhos reportam a ausência de respostas das culturas à calagem superficial.

O uso de alternativas, como a rotação de culturas tem auxiliado no deslocamento dos corretivos à maiores profundidades, através da formação de canais preferenciais, formados pela decomposição de raízes, porém as respostas a ação isolada são insuficientes. A aplicação de grande quantidade de calcário em superfície forma uma frente de alcalinização, que após o pH do solo chegar próximo de seis, ocorre a mobilização dessa frente gerada ao longo do solo. Porém, doses maiores podem causar desbalanceamento químico no solo.

Por outro lado, a incorporação mecânica do calcário no solo é uma alternativa para reduzir o gradiente formado pela calagem, além de aumentar a velocidade de reação, aumentando os teores de cálcio e magnésio e corrigindo a acidez de forma mais rápida e em maiores profundidades, quando comparadas a aplicação superficial. No entanto, a incorporação mecânica altera o solo quanto as características físicas, desestruturando o solo,

Há muito tempo algumas observações em áreas de cerrado, apontaram para a melhorias na qualidade subsuperficial do solo, que mais tarde foram atribuídos ao uso do gesso agrícola ou fosfogesso. Uma série de pesquisas relatam inúmeras vantagens promovidas pelo uso do gesso, como aumento na saturação de cálcio e magnésio, suplementação de enxofre através do sulfato, imobilização do alumínio tóxico, melhoria na qualidade química dos solos, principalmente ao longo do perfil, viabilizando a exploração de maiores profundidades do solo, consequentemente, melhorando a distribuição do sistema radicular das plantas.

O uso do gesso agrícola dispensa a operação de incorporação, porém, devido ao deslocamento de bases há necessidade de suplementação destas com a utilização do calcário. A ação combinada de calcário e gesso agrícola é bastante explorada, onde a aplicação de calcário dolomítico eleva a saturação por bases, principalmente cálcio e magnésio em superfície, e, o gesso promove o deslocamento destas, através da formação de pares iônicos neutros como o $CaSO_4$ e $MgSO_4$.

O predomínio do plantio direto, minimizando o revolvimento do solo criando zonas ácidas e pobres em cátions básicos em subsuperfície, leva a inúmeros questionamentos sobre a correção de solo, tendo o gesso como alternativa mais o solúvel e passível de deslocamento, ou até o revolvimento do solo para correção de maiores profundidades do solo. Assim, a hipóteses do trabalho é que à aplicação combinada de calcário e gesso agrícola, sejam

eficientes em melhorar a fertilidade do solo ao menos até 0,2 m de profundidade, aumentando os teores foliares e a produtividade das culturas, sem a necessidade de incorporação no solo.

Diante do exposto, os objetivos do presente trabalho são avaliar o efeito da calagem e da gessagem, aplicados em superfície e incorporados, quanto aos atributos químicos do solo e das plantas, bem como, avaliar a produtividade das culturas como resposta dos tratamentos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O Sistema Plantio Direto

O Sistema Plantio Direto (SPD), consiste da exploração de sistemas agrícolas produtivos minimizando a mobilização do solo, concentrando a movimentação na linha de semeadura, preconizando a cobertura permanente e a diversificação de espécies, com a redução no tempo entre os cultivos (FEBRAPDP, 2018). No Brasil, o SPD está presente em mais de 86% das áreas de cultivo de grãos, enquanto que no Paraná, corresponde a cerca 91% das áreas, dados correspondentes as safras de verão de 2013/14 (BUBLITZ, 2014).

O SPD é um sistema conservacionista, que contribui para a redução da erosão e aumento do estoque de carbono orgânico do solo, porém, ao longo do tempo com a menor movimentação do solo, ocorre o acúmulo superficial, seja das operações mecânicas, de fertilizantes e corretivos ou de restos culturais (LOPES et al., 2004). O SPD é o sistema de cultivo mais eficiente no controle de erosão, reduzindo as perdas de nutrientes como Calcio, magnésio e potássio, além da matéria orgânica (HERNANI; KURIHARA; SILVA, 1999). A cobertura advinda dos restos culturais, aliada a rotação de culturas, possibilita maior proteção do solo, reduzindo o impacto dos fatores erosivos (HERNANI, KURIHARA, SILVA, 1999; NAKAO et al. 2015).

A rotação de culturas é um dos pilares do plantio direto, onde, as diversas culturas contribuem diferentemente para o bom desenvolvimento do sistema, promovendo distintas taxas de acúmulo de carbono e nitrogênio, e enriquecendo a atividade microbiana (ALMEIDA; BAYER; ALMEIDA, 2016; CAIRES et al., 2001, 2016; CAIRES; GARBUIO; BARTH, 2016). Assim como, a redução na taxa de decomposição dos resíduos vegetais, que determina em grande parte o sucesso do plantio direto (FRANCHINI et al., 2000).

Um dos maiores problemas nos solos brasileiros é a acidez, que está presente em quase 70% das áreas de cultivo (OLMOS; CAMARGO, 1976). Grande parte dos

conhecimentos de correção do solo se baseavam no sistema de cultivo convencional, e, de acordo com Caires et al., (1999), de modo geral, esses conhecimentos não podem ser diretamente aplicados ao SPD, principalmente quando estão relacionados a incorporação de corretivos de acidez e condicionadores de solo, a partir disso, observa-se que ainda existem poucos conhecimentos sobre a calagem superficial, correção de perfil, bem como a necessidade de intervenção mecânica no sistema (CAIRES et al., 2006b; RHEINHEIMER et al., 2000; SORATTO; CRUSCIOL, 2008a, b). Amado et al. (2001) observaram que as áreas com o uso de aração e gradagem para a incorporação dos corretivos de solo levaram quatro anos sob plantio direto para iniciar a recuperação dos teores de carbono orgânico do solo, e em solos com menores teores de argila o tempo para recuperação é ainda maior.

Os solos sob SPD estão em constante atividade, com alta taxa de decomposição dos resíduos culturais, favorecendo a acidificação do sistema, formando ácidos orgânicos, dióxido de carbono e água (CAIRES; FONSECA, 2000; CIOTTA et al., 2002). Por outro lado, há um aumento na quantidade de cargas variáveis do solo, devido ao aumento do teor de matéria orgânica.

2.2. Alterações químicas do solo pela calagem

Os fatores que levam à acidificação dos solos são inúmeros, dentre eles destacam-se o material de origem, os agentes envolvidos no intemperismo, como os microrganismos, e principalmente o clima, que em condições de alta pluviosidade acelerando a movimentação de cátions básicos como o Calcio, magnésio, potássio e Na^+ do solo, e favorecendo o acúmulo de hidrogênio e alumínio. Fatores antrópicos também contribuem para a acidificação do solo, como o uso de adubos químicos e o próprio cultivo de plantas, através da absorção radicular de cátions básicos (SOUSA, MIRANDA e OLIVEIRA, 2007), principalmente os cátions adsorvidos nos sítios de troca das argilas, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e da matéria orgânica (MEURER et al. 2012).

O calcário é um recurso abundante no Brasil, com inúmeras reservas, principalmente nas regiões Sudeste e Centro Oeste do país, o tornando um insumo agrícola de fácil acesso e de baixo custo. Segundo Nahass e Severino (2003) através de levantamentos do CETEM, citam que a maior quantidade de calcário está localizada nos estados do Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Paraná.

O calcário (CaCO_3) é um sal, proveniente da moagem de rocha calcária que, adicionado ao solo possui intermediária capacidade de dissociação, fornecendo os cátions Ca^{2+}

e/ou Mg^{2+} como nutrientes, e o CO_3^{2-} agindo com ácido fraco, atuando como receptor de prótons, logo neutralizando a acidez do solo. A solubilidade do calcário é de aproximadamente $0,02 \text{ g L}^{-1}$, cerca de 100 vezes menor que a do gesso agrícola (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007). A reação básica do calcário no solo está descrita na figura 1.

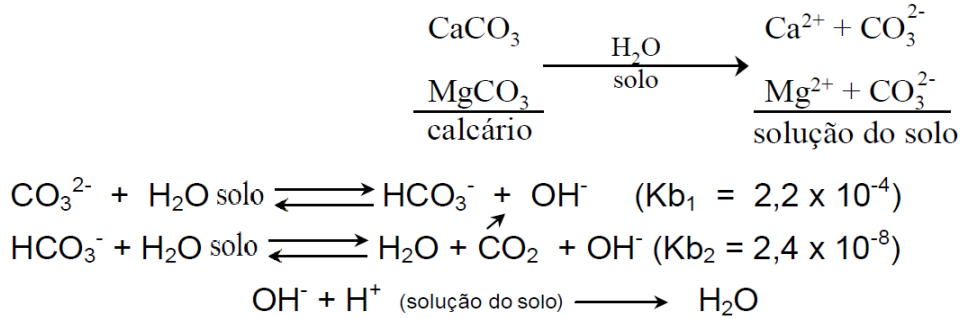


Figura 1. Reação do calcário no solo. Fonte: ALCARDE (2005).

O calcário é o principal insumo agrícola utilizado na correção da acidez dos solos cultivados (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007), restaurando a capacidade produtiva do solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes e diminuindo a concentração de elementos tóxicos dos solos (PAVAN; OLIVEIRA, 2000). As medidas de correção da acidez pelo uso do calcário se baseiam no princípio da neutralização do alumínio tóxico, e na redução da atividade do H^+ na solução do solo (QUAGGIO et al., 1993; NOVAIS et al., 2007; MEURER et al., 2006).

Com a dissolução do calcário dolimitico ocorre a liberação de Ca^{2+} e Mg^{2+} na solução, estes reagem com os colóides do solo, deslocando íons de Al^{3+} para a solução, que serão hidrolisados. Com a elevação do pH os íons de H^+ são dissociados pelos íons de HCO_3^- , formando água e gás carbônico (QUAGGIO, 2000).

A movimentação e a dissolução do calcário dependem principalmente do tempo e da quantidade aplicada (RHEINHEIMER et al., 2000). A ação do calcário é restrita a uma pequena distância do local da aplicação, assim, quanto maior a profundidade aplicada e o volume de solo alcançado, maior é o efeito da calagem (RAIJ et al., 1996). Porém, em SPD isso não é possível, visto que não há o revolvimento do solo.

De acordo com CAIRES et al. (1999), no SPD a calagem é realizada em superfície, já se esperando que a ação seja mais lenta e restrita as primeiras camadas de solo. Com a evolução do plantio direto forma-se uma frente de alcalinização no solo, corrigindo o pH em superfície, que avança gradualmente no perfil do solo, como relatado por Alleoni, Cambri e Caires (2005), Crusciol et al. (2016a, 2017).

Conte et al. (2017), avaliando um solo de Vacaria-RS, 40 meses após a aplicação de até 30 Mg ha⁻¹ de calcário, observaram que os efeitos foram limitados a 0,2 m de profundidade, mesmo quando o pH do solo foi elevado acima de 7,5. Por outro lado, Costa et al. (2016) encontraram resultados na correção do pH até 0,4 m de profundidade, com redução nos teores de Al³⁺ até 0,2 m, enquanto que os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ foram elevados até 0,6 m, com aplicação de doses menores, de até 4 Mg ha⁻¹, em um solo de textura mais leve, concordando com Lima (2001) que, na mesma região, em um Nitossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa, verificou aumento do pH e da saturação por bases até 0,40 m, logo aos 5 meses após a aplicação do calcário.

Outro aspecto a ser considerado é a saturação por Ca²⁺ e Mg²⁺ na CTC, bem como a relação entre eles, pois o fornecimento, assim como a absorção, podem ser desbalanceados, e o aumento na absorção de Ca²⁺ reduz a absorção de Mg²⁺, devido ao efeito de inibição competitiva na absorção radicular, que por sua vez afeta os teores na parte aérea das plantas (MEDEIROS et al., 2008). Fidalski e Tormena (2005) encontraram redução na relação Ca/Mg na camada de solo entre 0,1 - 0,4 m, sob aplicação superficial de doses de calcário dolomítico a partir de 12 meses da aplicação.

Bortoluzzi et al. (2014) avaliaram um Latossolo Vermelho de textura argilosa, passados cinco anos da aplicação de calcários calcítico e dolomítico, e verificaram que os teores de Mg²⁺ do solo foram superiores no tratamento com a aplicação de calcário dolomítico, tanto com aplicação superficial quanto incorporada. Em condições similares, Caires, Joris e Churka (2011) observaram que os teores de Mg²⁺ do solo foram superiores na camada 0-0,2 m, sob aplicação superficial de 4,5 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, diferente da camada de 0,2-0,4 m. na qual apenas o tratamento com incorporação resultou em acréscimos nesses teores.

2.3. Alterações químicas do solo pela gessagem

O gesso é um condicionador de solo, composto por sulfato de cálcio dihidratado (CaSO₄ 2H₂O) (NUENBERG et al., 2005). As formas utilizadas na agricultura, basicamente possuem duas origens: através da mineração da rocha gipsita, representando menos de 1% de todo o gesso utilizado pela agricultura nacional (BALTAR et al., 2005), e como subproduto da fabricação de fertilizantes fosfatados, ao qual é atribuído praticamente todo o gesso (fosfogesso) utilizado na agricultura brasileira, no qual normalmente também são encontrados nutrientes como resíduos (MALAVOLTA, 2006).

O fosfogesso detém certa quantidade de água, variando entre 15 e 20% (NUERNBERG et al., 2005). Alguns autores mensuraram a quantidade de resíduos e metais pesados, que frequentemente são encontrados na composição, tais como, Arsênio ($0,43 \text{ mg kg}^{-1}$), Cádmio ($0,64 \text{ mg kg}^{-1}$), Chumbo ($10,52 \text{ mg kg kg}^{-1}$), Flúor ($0,015 \text{ mg kg kg}^{-1}$) (NORA et al., 2014; CAODOBRASIL, 2015). Entretanto, poucas considerações práticas são realizadas em decorrência destes resíduos.

Os teores médios de enxofre e cálcio na composição do gesso agrícola variam entre 17 e 23%, com 0,5% a 0,8% de fósforo (NUERNBERG et al., 2005; ZAMBROSI; ALLEONI, CAIRES, 2007; RAMPIM et al., 2011; ARF et al., 2014; MICHALOVICZ et al., 2014; FISHER, 2011).

O gesso agrícola é um sal neutro, o que não lhe confere efeito direto como corretivo de acidez (RAIJ, 2008), o que pode ocorrer é a troca de posições entre ácido/base no solo e temporária neutralização ou redução na atividade H^+ e do Alumínio (FOLONI et al., 2008) e, ocasionalmente, pode ter efeito no pH do solo, em camadas mais profundas, através da troca de ligantes com óxidos de Fe e Al (RAIJ, 1988).

Após a dissociação do gesso, o SO_4^{-2} pode seguir inúmeras rotas, sendo possível a permanência na solução do solo, absorção pelas plantas, lixiviação, ser reduzido por microrganismos a S^{-2} e passível de perdas para a atmosfera (MALAVOLTA, 1981), e também pode formar pares iônicos. Zambrosi, Alleoni e Caires (2007) estudaram a especiação iônica em um solo sob aplicação de gesso agrícola, sendo que para o S aplicado, o anión SO_4^{-2} foi predominante, com mais de 90% de todas as formas e complexos analisados, SO_4^{2-} , CaSO_4^0 e MgSO_4^0 .

Logo, o SO_4^{-2} adicionado pode reagir com os íons em solução formando pares iônicos neutros, passíveis de deslocamento para camadas subsuperficiais do solo, o que foi observado por Nava et al. (2012) e Rampim et al. (2011) para Mg^{+2} e Al^{3+} por Pauletti et al. (2014). Além disso, o Ca^{2+} adicionado estará passível de absorção pelas raízes ou podendo ser adsorvido pelo solo. Já o complexo CaSO_4^0 possui alta mobilidade no solo, sendo fonte de Ca^{+2} em subsuperfície (DICK, 2013; LOPES; GUILHERME, 2007).

A pluviosidade é imprescindível nas reações do gesso nos solos, desde a dissociação até o deslocamento ao longo do perfil (LOUREIRO; NASCIMENTO, 2009), além do mais, a água está relacionada à velocidade das reações no solo, dado que a dissociação do gesso é $2,5 \text{ g L}^{-1}$ de água, quase 100 vezes maior que a do calcário, o que explica parte do comportamento do gesso em relação ao calcário (RAIJ, 1988; DIAS, 1992).

As reações inicialmente ocorrem nas camadas superficiais, como pode ser

notado em grande parte dos trabalhos com gesso agrícola, e rapidamente se observa elevado aumento nos teores de Ca^{2+} e SO_4 até 0,1 metro (CRUSCIOL et al., 2014; MICHALOVICZ et al., 2014; RAMPIM; LANA, 2015; ZANDONA et al., 2015). Porém, parte do CaSO_4 é mobilizado das camadas superficiais do solo e posteriormente dissociado em camadas mais profundas, mais ácidas, resultado da troca do ânion SO_4^{2-} pelo OH^- na superfície dos sesquióxidos, formando o composto $\text{Al}(\text{OH})_3$, precipitando o AL^{3+} e, assim, reduzindo a acidez trocável do solo, podendo elevar o pH do solo em maiores profundidades (BORGES et al., 1998; MICHALOVICZ et al., 2014).

Nogueira e Melo (2003), em um solo com 31% de argila, sob aplicação de gesso agrícola, apontaram que os mais elevados teores de sulfato foram detectados logo aos 21 dias após a aplicação, de 0-0,2 m de profundidade, mostrando que a dissociação do gesso agrícola é muita rápida, além disso, os efeitos foram detectados além da profundidade 0,2 m.

Foloni et al. (2008) encontraram resultados da aplicação de gesso agrícola em um solo com 18% de argila, logo aos 55 dias após a aplicação de gesso, quando incorporado no solo em casa de vegetação aplicando a dose de 8 Mg ha^{-1} de gesso agrícola. Rampim et al. (2011), avaliando um latossolo argiloso a 0,2 m de profundidade, sob aplicação de doses de gesso de até 5 Mg ha^{-1} , encontraram resultados aos 6 meses após aplicação. Caires et al. (2011), em um latossolo argiloso com a aplicação de dose de 0, 4, 8 e 12 Mg ha^{-1} , observaram que as alterações foram nítidas aos 9 meses após o uso do gesso agrícola, alcançando a profundidade de 0,6 m, similar aos resultados encontrados por Michalovicz et al. (2014), aos 6 meses após a aplicação em condições similares.

Além da persistência, a profundidade alcançada pelo gesso no solo pode variar em função de inúmeros fatores. E uma das formas de se avaliar é verificar onde se encontram os produtos da dissociação do gesso. Assim, resultados analisados por Soratto e Crusciol (2008) e Crusciol et al. (2014) sob aplicação de gesso em solos com baixos teores de argila, foram avaliados aos 6 e 12 meses após a aplicação, proporcionando alterações nas profundidades de 0-0,2 e 0-0,6 m, respectivamente, com acréscimos nos teores de Ca^{2+} . Já para Rampim et al. (2011), em condições de solos argilosos e com índices pluviométricos superiores, somente passados 9 meses da aplicação é que os efeitos alcançaram a profundidade de 0,4 m. Para Caires et al. (2011), em condições similares, somente aos 18 meses os acréscimos foram evidentes até 0,6 m de profundidade.

As principais alterações químicas promovidas no solo, devido à aplicação de gesso agrícola, são: fornecimento de Ca^{2+} e SO_4^{2-} e mobilidade do Mg^{2+} sempre atrelados a mobilização ao longo do perfil, que normalmente não são alcançadas pelo uso isolado de

calcário aplicado em superfície (CAIRES et al. 2011; RAMPIM, et al. 2011; NAVA et al. 2012; MICHALOVICZ et al. 2014; PAULETTI et al. 2014).

Acréscimos nos teores de cálcio são observados todos os solos sob aplicação de gesso agrícola, podendo ser constatado em inúmeros trabalhos, entretanto, devemos nos atentar à abordagem de Raij (1988), que elucida a importância do gesso agrícola como condicionador de solo, enfatizando principalmente a agregação do solo, uma vez que esta alteração é conferida pelo aumento na concentração de cátions polivalentes no solo. A adição de cátions polivalentes como o Ca^{2+} em grande quantidade, além de aumentar a agregação do solo, pode reduzir a quantidade de Al^{3+} na CTC (RAMPIM et al., 2011).

Outro trabalho importante foi realizado por Soratto e Crusciol (2008a) em um Latossolo Vermelho distroférico com 350 g kg^{-1} de argila, sob aplicação combinada de calcário e gesso agrícola, no qual os teores de Ca^{2+} foram elevados mediante a aplicação de ambos, porém os efeitos em maiores profundidades foram promovidos com maior intensidade sob à aplicação combinada das fontes de cálcio, sendo eficientes já nos primeiros 3 meses após a aplicação.

Foloni et al. (2008), estudaram a aplicação de gesso agrícola em um Argissolo Vermelho distroférico com 180 g kg^{-1} de argila, de 0-0,2 m, observaram que, 55 dias após a aplicação no solo os teores de Ca^{2+} foram três vezes maiores, e com redução nos teores de Mg^{2+} , com aplicação de 8 Mg ha^{-1} de gesso agrícola. Rampim et al. (2011) também estudaram o uso do gesso agrícola em dois Latossolos Vermelhos eutroféricos com 760 g kg^{-1} de argila de 0-0,2 m, neste caso com doses crescentes até 5 Mg ha^{-1} sob aplicação superficial, com aumentos crescentes dos teores de cálcio, aos 6 meses após a aplicação.

Pavan et al. (1984) estudaram a aplicação de gesso e calcário com posterior avaliação da especiação do cálcio, mostrando que o cálcio advindo do calcário permaneceu na forma Ca^{2+} , em mais de 95% do total até 0,1 m e 100% de 0,1-1 m de profundidade. Já no tratamento com aplicação de gesso, quase 30% do cálcio foi encontrado ligado ao CaSO_4 , independente da profundidade avaliada. Também foram observados aumentos em mais de 10 vezes da quantidade de Ca^{2+} encontrada em camadas mais profundas do solo, comparado à aplicação de calcário.

Como observado, o Mg^{2+} normalmente é o cátion mais mobilizado em função da aplicação de gesso, principalmente deslocando-o das camadas superficiais do solo (0-0,2 m.) para profundidades a partir de 0,2 m, pois é a camada de solo onde o gesso promove a redução no PCZ, além de aumentar a CTC_{efetiva} (SERAFIM et al., 2012). O aumento nos teores de Ca^{2+} concomitante a redução do Mg^{2+} nas camadas superficiais do solo, aumenta a relação Ca/Mg,

que segundo Caires et al. (2011) é responsável pela melhoria na qualidade química do solo, e tida como benéfica ao cultivo de plantas, uma vez que a relação se encontra desbalanceada.

A mobilidade de Mg^{2+} com aplicação de gesso também foi relatada por Quaggio et al. (1993), no entanto, quando a aplicação foi combinada com calcário dolomítico, os teores de magnésio não foram alterados. Rampim et al. (2011) avaliaram o efeito da aplicação de 1, 2, 3, 4 e 5 $Mg\ ha^{-1}$ de gesso agrícola, em um Latossolo Vermelho argiloso, e verificaram que os teores de Mg^{2+} tiveram redução linear na profundidade de 0-0,2 m aos 6 meses, e, com menor intensidade a 0,4 m aos 12 meses após a aplicação.

Um dos benefícios da utilização de gesso combinado com calcário foi explicado por Ernani et al. (2001) por meio da calagem prioritariamente com calcário dolomítico, em casos em que não se deseja a redução nos teores de magnésio do solo, uma vez que a calagem eleva o pH do solo, soma de bases, além da $CTC_{efetiva}$, aumentando a capacidade de adsorção de cátions, como o Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+} minimizando o deslocamento ao longo do perfil.

A mobilidade do íon potássio, em função da aplicação de gesso agrícola pode ser atribuída a formação do $K_2SO_4^0$ (MEURER et al., 2006; NEIS et al., 2010), entretanto, esses estudos foram desenvolvidos em solos com altos níveis de K^+ , e em torno de $500\ g\ kg^{-1}$ de areia, com CTC em torno de $10\ cmol_c\ dm^{-3}$. Por outro lado, resultados de Pauletti et al. (2014); Zambrosi, Alleoni e Caires (2008) mostram que a formação do par iônico K_2SO_4 não é preferencial. Zambrosi, Alleoni e Caires (2007), avaliando a especiação iônica do sulfato em um Latossolo Vermelho de textura argilosa, cinco anos após a aplicação de doses entre 3 e 9 $Mg\ ha^{-1}$ de gesso agrícola, observaram que mais de 95% do sulfato se encontrava na forma livre, e menos de 2,5% do restante estava ligado ao K, Al, Mn, Na, ou seja, em baixas concentrações.

As maiores alterações nos teores de K^+ se devem à competição entre os sítios de troca da CTC, uma vez que são adicionadas grandes quantidades de Ca^{2+} , deslocando os íons de Mg^{2+} e K^+ para a solução do solo, estando predispostos a absorção ou deslocamento no perfil do solo, assim, podendo reduzir os teores de K^+ da camada superficial quando há deslocamento para as camadas mais profundas do solo (CAIRES et al., 2011a; NAVA et al., 2012; SERAFIN et al., 2012; RAMPIM; LANA, 2015), também promovendo o aumento momentâneo do K^+ em solução, podendo ser acompanhado de acréscimos nos teores foliares. Porém, os trabalhos mais recentes não têm constatado esses mesmos resultados (CAIRES et al., 2011a; MICHALOVICZ et al., 2014; PAULETTI et al., 2014).

Em solos com altos teores de K^+ , como encontrado por Caires et al. (2011),

para um Latossolo Vermelho de textura argilosa, no qual logo aos 9 meses após a aplicação do gesso verificou-se redução nos teores de 0-0,1 m, justificado pelos elevados teores de K^+ encontrados na camada de solo, entretanto, permaneceu com teores de $0,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, não limitando a produtividade das plantas. Rampim et al. (2011) também relataram queda nos teores de K^+ , principalmente um ano após a aplicação do gesso, sob comportamento linear em doses de até 5 Mg ha^{-1} , e, neste caso, também se observou altos teores iniciais de 0-0,1 m, em torno de $0,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Michalovicz et al. (2014), avaliaram os efeitos da aplicação de até 6 Mg ha^{-1} de gesso agrícola em um Latossolo Bruno argiloso, sendo o teor inicial de $0,32 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K^+ na camada de 0-0,1 m, e a avaliação aos 6 meses após aplicação não mostrou alteração nos teores de potássio. Este resultado foi atribuído à maior CTC do solo, cerca de $15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ superior à encontrada em solos em que foram relatadas perdas de K^+ . Vicensi et al., (2016) nas mesmas condições, também não encontraram diferenças em relação ao K^+ , independente da dose e do parcelamento do gesso agrícola aplicado. Os resultados estão de acordo com os de Nava et al. (2010) e Raij et al. (1998), que justificam o fato de não haver queda nos teores de K^+ , mesmo com altos teores no solo, à constante reciclagem do nutriente, evitando perdas ou deslocamento no solo.

Assim como o cálcio, o gesso agrícola fornece SO_4^{2-} ao solo, entretanto, a dinâmica do sulfato é diferenciada, se tratando de um ânion polivalente (ALVAREZ et al. 2001). Nuernberg et al. (2005) citam a grande importância do enxofre (S) para as plantas, neste caso, suprido em grande maioria pelo gesso agrícola, uma vez que o aumento na utilização de adubos concentrados vem reduzindo a quantidade de S adicionado ao solo

Nos solos brasileiros a matéria orgânica e os minerais de argila 1:1 predominam como geradores de cargas negativas nos solos, principalmente nas camadas superficiais, causando repulsão de ânions, fato pelo qual os íons SO_4^{2-} são rapidamente deslocados para camadas mais profundas do solo, onde há maior quantidade de cargas positivas (NOVAIS et al., 2007).

Quaggio et al. (1993), trabalhando com gesso e calcário em um solo argiloso, constataram aumento nos teores de Ca^{2+} e SO_4^{2-} do solo logo aos seis meses após a aplicação, no entanto, o íon sulfato teve maior movimentação em profundidade que o cálcio, mesmo que a calagem possa ter potencializado o deslocamento do Ca^{2+} , fato ocorrido pela liberação de cargas positivas no solo pela calagem, aumentando a repulsão e deslocando o sulfato para camadas mais profundas.

Os acréscimos nos teores de sulfato nos solos sob aplicação de gesso agrícola

são evidentes, sendo observado em praticamente todos os solos sob aplicação de gesso agrícola. Um experimento desenvolvido por Nogueira e Melo (2003), em um Latossolo Vermelho com 310 g kg^{-1} de argila, verificou-se que com apenas 21 dias os teores de sulfato foram elevados na camada de 0,2-0,4 m. Em dois anos consecutivos sob os mesmos tratamentos, entretanto, no ano com maiores índices pluviométricos os teores foram superiores nas maiores profundidades, confirmando estudos de Dias et al. (1994), que relataram que a velocidade de reação do gesso agrícola foi proporcional à lâmina de água aplicada ao solo.

Aos solos argilosos normalmente é atribuída maior capacidade de adsorção de sulfato (ALVAREZ et al., 2001). Em um solo com 650 g kg^{-1} de argila, Caires et al. (2011) mostram que a adição de 12 Mg ha^{-1} de gesso proporcionou aumento nos teores de sulfato, elevando de 10 para 80 mg dm^{-3} , até a profundidade de 0,4 m. Já para a camada de 0,4-0,6 m, os teores passaram de 60 para 160 mg dm^{-3} aos 9 meses após a aplicação. Michalovicz (2012), trabalhando em solos com teores médios de 750 g kg^{-1} de argila, após 6 ou 18 meses da aplicação da dose de 12 Mg ha^{-1} de gesso agrícola, verificou aumento nos teores de SO_4^{2-} de 60 para 200 mg dm^{-3} , na profundidade de 0,8 m, corroborando com os resultados de Rampim et al. (2011), que para a camada de 0,2-0,4 m os teores chegaram a mais de 250 mg dm^{-3} .

O deslocamento do sulfato ao longo do perfil do solo pode ocorrer na forma iônica, mas também há formação de pares iônicos, e o deslocamento é facilitado devido a eletroneutralidade. Vários trabalhos mostram o deslocamento de cátions no solo, o Ca^{2+} , por exemplo, em que a mobilidade no perfil do solo foi atribuído por Nava et al. (2012) à formação do par iônico CaSO_4 , amparado pelos resultados de Caires et al. (2004), que sob aplicação superficial de calcário não observaram aumentos nos teores de cálcio abaixo de 0,05 m, enquanto que para aplicação de gesso foram encontradas aumento nos teores de cálcio até 0,8 m, mostrando o efeito do íon acompanhante SO_4^{2-} como fundamental para o deslocamento no solo.

A aplicação de gesso agrícola muitas vezes causa o deslocamento do Mg^{2+} ao longo do perfil do solo, mais especificamente devido à presença do sulfato livre. De acordo com Soratto e Crusciol (2008b), o sulfato tem maior predisposição para ligação com o Mg^{2+} , além de estar em maior disponibilidade nas camadas superficiais comparado com o Ca^{2+} , devido ao cálcio ter maior força de ligação com as cargas do solo, expulsando o Mg^{2+} para a solução. Para Caires et al. (2004), devido ao deslocamento de Mg^{2+} promovido pela aplicação do gesso, é necessário realizar a aplicação combinada com calcário dolomítico, visando repor o Mg^{2+} deslocado das camadas superficiais de solo.

Zambrosi, Alleoni e Caires (2007), avaliando a especiação iônica em um solo

cinco anos após a aplicação de gesso agrícola, verificaram que a maior quantidade de sulfato foi encontrado na forma livre, em torno de 95%, na profundidade de até 0,4 m, assim, a fração associada a cálcio, magnésio e outras formas somam pequenas quantidades no solo. Resultados similares foram encontrados por Raij (1988), que observou maiores quantidades de SO_4^{2-} na forma iônica, e diferente do magnésio, a relação do K^+ com o sulfato não foi abordada por nenhum dos autores. Caires et al. (2004); Michalovicz et al. (2014) mostram que o efeito de deslocamento do K^+ está mais relacionado à competição com outros cátions na CTC do solo.

Outro cátion que possui relação com o sulfato é o alumínio (Al^{3+}), que confere algumas propriedades importantes para o solo, por exemplo, maior agregação, por conta de seu caráter catiônico trivalente (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011). Entretanto, as maiores implicações estão relacionadas ao seu efeito tóxico às plantas, logo, há necessidade de eliminar ou neutralizar quantidades excessivas no solo, motivo pelo qual é empregado o uso da calagem, e no caso de camadas mais profundas de solo, a gessagem (SOUSA et al., 2001).

2.4. Aplicação superficial e incorporada

Um dos princípios do SPD é o mínimo revolvimento do solo (FEBRAPDP, 2018), reduzindo as operações de preparo com revolvimento do solo, com isso foram implementadas inúmeras modificações exigindo novas ferramentas e técnicas para o manejo do solo, gerando uma série de desafios,

Muitos trabalhos têm objetivado investigar a correção de solo em SPD, dentre as investigações a presença ou não da incorporação vem sendo discutida (BASSO et al., 2015; BORTOLANZA; KLEIN, 2016; CONTE et al., 2017; MIRANDA et al., 2005; RHEINHEIMER et al., 2000; SOMAVILLA et al., 2016). Um dos principais entraves é dado à correção do pH do solo, devido a aplicação e dissolução do calcário ocorrer na superfície do solo.

A movimentação do calcário no perfil pode ser atribuída a fatores como o deslocamento físico de partículas através do caminho percorrido pelas raízes, fendas no solo, sendo carregado com a água, mas também há pequeno revolvimento do solo com a realização da semeadura, permitindo a certa incorporação do corretivo (PAVAN; ROTH, 1992; RHEINHEIMER et al., 2000; SORATTO et al., 2010), junto à intensa atividade dos microrganismos, macro e meso fauna do solo, que também contribuem para a melhoria da fertilidade do solo, pela decomposição e incorporação da matéria orgânica do solo (VIANA et al., 2015; ALMEIDA et al., 2016).

Outra alternativa para a correção do solo é a utilização combinada de calcário e gesso, aumentando a fertilidade abaixo de 0,2 m (COSTA et al., 2016; CASTRO; CRUSCIOL 2013; CRUSCIOL et al., 2017; ROSSATO et al., 2017). Porém, o gesso não corrige a acidez, nesse caso a incorporação de calcário é forma mais utilizada para correção o pH, elevando os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} entre 0,1 e 0,2 m (CAIRES et al., 2006; ALLEONI; CAMBRI; CAIRES, 2005). Conforme Caires et al. (1998); Pöttker e Ben (1998); Corrêa et al. (2007); Mello et al. (2003), com aplicações superficiais de calcário houve aumento nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e elevação do pH até 0,05 m, e levemente até 0,1 m, a partir de 12 meses de aplicação.

O gesso pode ser aplicado em superfície ou incorporado no solo (ALVES e SOUZA 2008; RAMOS et al. 2013; SANTOS et al. 2012), entretanto, devido à utilização da Semeadura Direta (SD), a mobilização do solo foi eliminada, predominando a aplicação superficial. O gesso apresenta densidade média de $2,31 \text{ g cm}^{-3}$ e solubilidade de $2,5 \text{ g L}^{-1}$, que é muito superior ao calcário, motivo pelo qual possui maior deslocamento ao longo do perfil, além da reação ser mais rápida, dispensando a incorporação (FERNANDES, LUZ, CASTILHOS, 2010).

O revolvimento do solo muitas vezes não minimiza o gradiente de fertilidade, formado pelo uso dos fertilizantes e corretivos de solo, aplicados exclusivamente na superfície (BASSO et al., 2015). Alguns trabalhos com incorporação de gesso agrícola encontraram deslocamentos de Ca^{2+} e Mg^{2+} até 0,8 m, com doses elevadas de gesso agrícola (RAMOS et al., 2012), porém, estes efeitos não diferem da aplicação superficial sem incorporação (MICHALOVIZ et al., 2014; PAULETTI et al., 2004; RAMPIM e LANA, 2015; ZANDONÁ et al., 2015).

Outro benefício da aplicação superficial sem incorporação é a redução do custo de produção, gerando uma economia de cerca de 40%, em relação a incorporação no solo (CAIRES; BARTH; GARBUIO, 2006).

Alleoni, Cambri e Caires (2005) desenvolveram um trabalho em Latossolo Vermelho de textura argilosa, onde foram estudadas doses de 2 a $7,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico, aplicadas na superfície ou incorporadas. Aos 30 meses após a calagem, observou-se que para o Mg^{2+} os resultados foram limitados a profundidade de 0,1 m. Já para o tratamento com incorporação as alterações foram até 0,2 m, tais alterações foram justificadas pelo alto teor de argila, em torno de 720 g kg^{-1} , que atrelado à correção na acidez do solo resundou em aumento na retenção de cátions.

Kaminski et al. (2005), avaliando o efeito da calagem com doses de 8,5; 17 e $2+2+2+2 \text{ Mg ha}^{-1}$, parceladas em 4 anos, sob um Argissolo de textura média, verificaram que

a aplicação superficial proporcionou teores de magnésio superiores ao tratamento com incorporação, sendo que em profundidades superiores a 0,1 m a incorporação promoveu maiores teores de Mg^{2+} , chegando a 0,4 m de profundidade.

Para que os efeitos do calcário possam ser efetivados, normalmente é necessário maior tempo de reação no solo, uma vez que a solubilidade é baixa, além da maior estabilidade dos compostos $CaCO_3$ e $CaMg(CO_3)_2$, maior granulometria em relação ao do gesso agrícola, reduzindo a superfície de contato e dificultando a reação (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007). A liberação de CO_3^{2-} e, posteriormente, a formação da molécula OH^- , que efetivamente promove a neutralização da acidez, é lenta, portanto o tempo de reação é muitas vezes maior que para o gesso agrícola (ALCARDE, 2005).

A movimentação e a dissolução do calcário dependem principalmente do tempo e da quantidade aplicada (RHEINHEIMER et al., 2000). Quaggio et al. (1993), trabalhando com doses de calcário incorporado a 0,26 m, encontraram resultados de aumento no pH, Ca^{2+} e Mg^{2+} em profundidades de até 0,4 m, aos 6 meses após a aplicação, diferente da amostragem efetuada aos dois meses, na qual não foram identificadas alterações no solo. Zandoná et al. (2015) encontraram acréscimos nos teores de cálcio do solo, aos 9 meses após a aplicação de calcário sem incorporação no solo.

Visando reduzir o revolvimento do solo, mas mantendo a correção em profundidade, foram verificadas algumas formas de se resolver este impasse. Leal et al. (2013) verificaram que pela aplicação de calcário incorporado, em superfície ou parcelado, os teores de cálcio foliar no milho foram superiores no tratamento com incorporação, particularmente em um ano com déficit hídrico, mostrando a importância do fornecimento de Ca^{2+} em camadas mais profundas de solo.

Em outro estudo Caires, Joris e Churka (2011) verificaram que o uso do calcário incorporado foi mais eficiente na correção da acidez e na redução dos teores de H+Al na camada de 0,1-0,2 m, quando comparado ao tratamento com doses parceladas em três vezes ou no tratamento aplicado totalmente na superfície. Os mesmos autores ainda observaram os efeitos da adição de gesso, na dose de 9 Mg ha^{-1} aplicada em superfície, independente da forma de calagem sendo que o gesso elevou os teores de Ca^{2+} ao longo de todo perfil do solo, sem que os teores de Mg^{2+} fossem reduzidos, melhorando a qualidade química do solo em profundidade.

As modificações promovidas no solo ocorrem próximas à superfície, devido a aplicação a lanço, principalmente no SPD. Em alguns casos, onde há incorporação do gesso, aumento de teores de cálcio são verificados, mas de forma que os teores não diferem entre as camadas até 0,3 m, como constatado por Costa et al. (2007), que relatam aumento nos teores de

cálcio até 0,3 m. de profundidade, diferente de Nava et al. (2012); Michalovicz et al. (2014), que ao realizarem aplicação de gesso em superfície observaram aumentos de forma distinta para cada profundidade de solo.

3. CAPITULO I – CALAGEM E GESSAGEM COM E SEM INCORPORAÇÃO EM LATOSSOLO VERMELHO SOB PLANTIO DIRETO

Resumo

O sistema plantio direto predomina nas áreas com cultivos anuais, minimizando o revolvimento do solo, concentrando as operações em superfície, principalmente na realização da calagem. Objetivando a correção subsuperficial do solo buscam-se alternativas, com destaque o uso de gesso agrícola, além da intervenção mecânica com a incorporação dos corretivos, porém os critérios ainda não estão claros, bem como, as técnicas para correção de solos sob plantio direto. Assim, o trabalho tem por objetivo estudar o efeito da calagem e gessagem, aplicados em superfície e incorporados ao solo, avaliando os atributos químicos do solo e das folhas das plantas, bem como, a produtividade das culturas. O experimento foi conduzido entre os anos de 2010 e 2013, desenvolvido no município de Londrina/PR, sob um Latossolo Vermelho eutrófico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial com um tratamento adicional como testemunha, $4 \times 2 + 1$. Os tratamentos foram compostos por quatro doses de gesso agrícola, conforme as recomendações mais difundidas atualmente: a) 0, b) $0,35 \text{ Mg ha}^{-1}$, c) 2 Mg ha^{-1} e d) 4 Mg ha^{-1} , aplicados em superfície sendo manejados de duas formas: com e sem incorporação, ambas com aplicação manual, já a incorporação no solo foi realizada com o uso de uma grade aradora de discos a 0,2 m de profundidade, além de mais um tratamento testemunha, sendo que a exceção da testemunha, as demais receberam 2 Mg ha^{-1} de calcário magnesiano. Os cultivos estabelecidos foram: soja, girassol e trigo. Foram avaliados os teores de nutrientes do solo, das folhas das plantas e a produtividade das culturas. A aplicação combinada de calcário e gesso elevaram os teores de cálcio, magnésio bem como as suas saturações na CTC, aumentaram a saturação por bases e a disponibilidade de fósforo. Além de corrigir o pH e reduzindo a acidez ativa. As crescentes doses de gesso elevaram os teores de cálcio no solo e a saturação na CTC aos 18 meses, e reduziram os teores de magnésio observado nas amostragens em todas as avaliações, assim como sua saturação na CTC, da mesma forma que doses crescentes de gesso elevaram a relação Ca/Mg, bem como os teores de sulfato no solo. A incorporação foi mais eficiente que a aplicação superficial na correção do pH, no aumento dos teores de cálcio e magnésio. Em geral, os teores nas folhas das plantas tiveram pequenos acréscimos com a calagem, possivelmente devido a pequena dose recomendada no início do experimento. As doses de

gesso na média das culturas, reduziram os teores de magnésio e elevaram os teores de enxofre nos tecidos. A adição de calcário e gesso elevaram as produtividades em relação a testemunha, já as doses de gesso foram insignificantes na produtividade das culturas. A aplicação superficial foi mais produtiva em relação a incorporada, indicando que a correção em superfície se apresenta como a melhor forma de correção do solo no sistema plantio direto.

Palavras-chave: Calagem. Gessagem. Eficiência técnica. Recomendação de gesso. Produtividade.

LIMING AND PHOSPHOGYPSUM WITH AND WITHOUT INCORPORATION IN RED LATOSOL UNDER NO TILLAGE

Abstract

The no tillage system predominates in areas with annual field crops, minimizing soil revolving, concentrating management operations on soil surface, mainly in the accomplishment of the liming. Aiming at soil subsurface correction many alternatives are sought, with emphasis on the use of phosphogypsum, furthermore, the mechanical intervention with the incorporation of correctives, however the criteria are still certain, as well as, the techniques for correction of soils under no-tillage. Thus, the objective of the work is to effect of liming and phosphogypsum applied into the soil on surface and incorporated, evaluating the chemical attributes of the soil and leaves tissue of the plants, as well as the productivity of field crops. The experiment was conducted between 2010 and 2013, is located in the city of Londrina/PR, in Typic Eutrothox. The experimental design was in randomized blocks, in a factorial scheme with an additional as a control treatment, $4 \times 2 + 1$. The treatments were composed of four rates of agricultural phosphogypsum, according to the most widespread recommendations currently a) 0, b) 0,35 Mg ha^{-1} , c) 2 Mg ha^{-1} e d) 4 Mg ha^{-1} , applied on surfaces being handled in two ways: with and without incorporation, both ways with manual application, the incorporation in the soil was performed using a disc harrow with 0.2 m deep work, in addition to one more control treatment, with the exception of the control, the others treatments received 2 Mg ha^{-1} of magnesian limestone. Are field crops were sown: soybean, sunflower and winter wheat. Soil chemical nutrient contents were evaluated and of the tissue of leaves of plants and the yield crops. The combined application of limestone and gypsum increased on the leaf calcium, magnesium as well as its saturations in ECE, they increased the base saturation and the phosphorus availability. In addition to correcting the pH and reducing active acidity. The increasing of gypsum rates increased the soil calcium and ECE taken for calcium, on the 18 months, and reduced the magnesium content, observed in the samples on every evaluation, as well as its saturation in ECE, the same way that increasing doses of gypsum increased the Ca/Mg relation, as well as the levels of sulfate in the soil. The incorporation was more efficient than the superficial application on the pH correction, in the increase of calcium and magnesium. Generally, the contents in the leaves of the plants had small additions with the liming, possibly due to the small dose recommended at the beginning of the experiment. The phosphogypsum rates in crops, reduced magnesium content and increased sulfur tissues content. The addition of

limestone and gypsum increased the yields relative to the control, whereas the gypsum rates were insignificant in the yield of field crops. Application on the surface was more productive of the incorporated treatment, indicating that the correction on the surface is presented as the best form of correction of the soil in the no-tillage system.

Keywords: Liming. Phosphogypsum application. Technical efficiency. Phosphogypsum recommendation. Yield crops.

3.1. Introdução

Os solos do Brasil, mais especificamente do Paraná, possuem em geral baixos valores de pH, fósforo e saturação por bases, além de elevados teores de alumínio e manganês que acabam limitando a produtividade das culturas (PAULETTI; MOTA, 2017). A correção da acidez do solo é realizada com a aplicação de óxidos, hidróxidos, silicatos e carbonatos (ALCARDE, 2005, CRUSCIOL et al. 2016a, b; 2017), dentre esses corretivos destaca-se o calcário, que além da redução da acidez, fornece cálcio e magnésio como nutrientes (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

A dinâmica da calagem depende de inúmeras variáveis, tais como, modo de aplicação, tempo de reação, granulometria e condições climáticas (CAIRES et al., 2011a; CRUSCIOL et al., 2016b; DALLA NORA et al., 2017). A aplicação de calcário em superfície é a forma mais difundida, porém possui alcance limitado a pequena profundidade do solo, chegando a 0,1 m, porém com a aplicação de elevadas doses há a formação de uma frente de alcalinização, e quando o pH em água atinge 5,2 – 5,5 se inicia a liberação de OH^- e HCO_3^- em solução, predispondo-o a translocação no solo, como os resultados da aplicação de doses a partir de $8,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário, encontrados por Rheinheimer et al. (2000). Mas o alcance desse mecanismo normalmente só ocorre em pequenas profundidades, elevando os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e a saturação por bases, e reduzindo o Al^{3+} (AULER et al., 2017; CONTE et al., 2017; NORA et al., 2014),

A calagem é responsável por acréscimos na produtividade da soja, milho e trigo (RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015; PAULETTI et al., 2014; ZANDONÁ et al., 2015) como resposta a melhoria na qualidade química dos solos, com reflexos no aumento dos teores nutricionais das folhas das culturas (COSTA et al., 2016; CRUSCIOL et al. 2016a; SORATTO; CRUSCIOL, 2008). Por outro lado, Minato et al. (2017); Soratto e Crusciol (2008b) observaram que a correção do solo, elevando os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em sistemas de plantio direto, em alguns casos não tem gerado acréscimos na produtividade, pela elevada concentração de nutrientes nas camadas superficiais do solo, limitando a exploração do solo pelas raízes das plantas em maiores profundidades.

Com ampla difusão, o sistema plantio direto (SPD) representa mais de 90% das áreas de cultivo no Paraná (BUBLITZ, 2014). É um sistema conservacionista, que ajuda na redução da erosão hídrica e no aumento do estoque carbono orgânico do solo, porém, no decorrer do tempo, devido à ausência de revolvimento do solo, ocorre o acúmulo superficial de fertilizantes, corretivos e restos culturais (LOPES et al., 2004).

Objetivando reduzir o gradiente de concentração e aumentar a profundidade de correção, alguns trabalhos tem estudado a aplicação dos corretivos seguida pelo revolvimento do solo (AULER et al., 2017; BASSO et al., 2015; BORTOLANZA; KLEIN, 2016; NORA et al., 2014), elevando o pH, Ca^{2+} e Mg^{2+} , e reduzindo os teores de Al^{3+} em profundidades entre 0,1 – 0,2 m (BORTOLANZA; KLEIN, 2016; CAIRES et al., 2006; CRUSCIOL et al., 2016b). Alguns autores encontraram efeitos abaixo de 0,2 m (SORATTO; CRUSCIOL, 2008b), chegando ao longo do tempo a 0,4 m ou até a maiores profundidades (CAIRES et al., 2003;2004; CRUSCIOL et al., 2014).

Para corrigir o gradiente químico formado no solo sem a intervenção mecânica é empregado o gesso agrícola, mais solúvel que o calcário (FERNANDES, LUZ, CASTILHOS, 2010), e quando aplicado em superfície a reação ocorre rapidamente, variando entre alguns dias a meses, (FOLONI et al., 2008; RAMPIM et al., 2011; SORATTO; CRUSCIOL, 2008b). O gesso agrícola eleva os teores de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} ao longo do perfil, podendo alcançar mais de 0,8 m de profundidade (CAIRES et al., 2004,2006,2011b, MICHALOVICZ et al., 2014). Translocando o Mg^{2+} das camadas superficiais para a camada abaixo de 0,2 m (CRUSCIOL et al., 2014; VICENSI et al., 2016). Além disso, reduz a saturação de Al^{3+} (SUMNER; FEY; FARINA, 1986).

Muitos trabalhos encontraram acréscimos lineares de produtividade em função de doses de gesso, como milho, cevada, trigo, aveia preta e soja (CAIRES et al., 2003;2011a; MICHALOVIZ et al., 2014; PAULETTI et al., 2014; RAMPIM; LANA, 2015; ZANDONÁ et al., 2015; VICENSI et al., 2016). Segundo Quaggio et al. (1993), o deslocamento do magnésio no perfil sob aplicação de gesso é considerado comum. A fim de minimizar este efeito Ernani et al. (2001) recomendam a aplicação de gesso combinada com calcário dolomítico, minimizando a redução de magnésio nas camadas superficiais do solo.

A aplicação superficial de calcário como corretivo da acidez em áreas sob plantio direto, combinado com o gesso agrícola condicionador de solo auxiliando no deslocamento de íons melhorando as camadas subsuperficiais do solo formam uma boa estratégia de manejo, sendo assim, a hipótese do trabalho é que a aplicação combinada de calcário e gesso agrícola, sejam eficientes em melhorar a fertilidade do solo ao menos até 0,2 m de profundidade, aumentando os teores foliares e a produtividade das culturas, sem a necessidade de incorporação no solo.

Diante do exposto, os objetivos do presente trabalho são avaliar o efeito da calagem e da gessagem, aplicados em superfície e incorporados, quanto aos atributos químicos do solo e das plantas, bem como, avaliar a produtividade das culturas.

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Caracterização da área e delineamento experimental

A área de estudo está localizada na estação experimental da Embrapa Soja, situada em Londrina/PR, nas coordenadas geográficas 23°11'31"S e 51°10'56"W, com altitude média de 600 metros. A área possui declividade média de 0,06 m m⁻¹. O clima da região é classificado como Cfa, segundo o sistema de classificação climática de Köppen (IAPAR, 2000). Os dados climáticos do período experimental, bem como, os dados históricos de temperatura e precipitações encontram-se no gráfico 1.

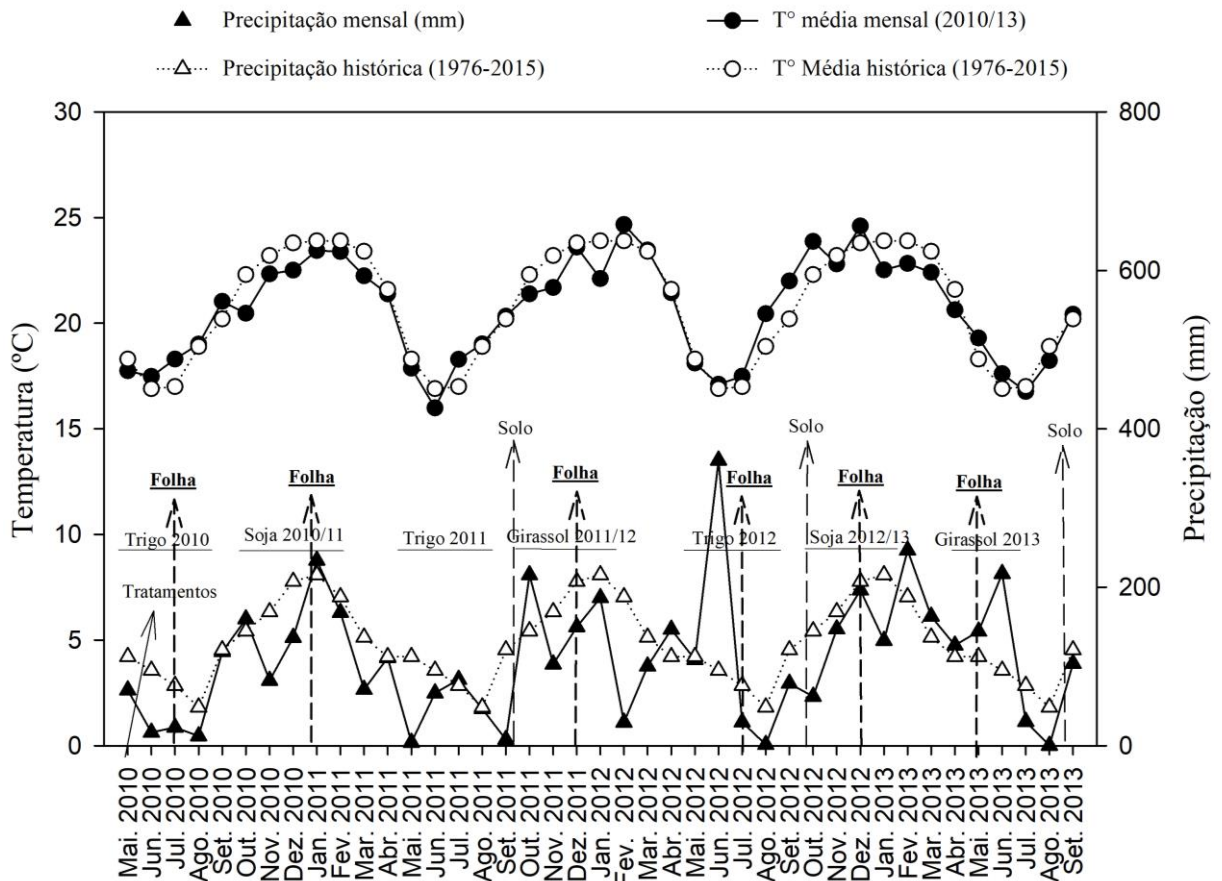


Figura 2. Médias históricas e temperatura média mensal, além do acumulado mensal das precipitações durante o experimento e as médias mensais históricas entre 1976-2014 em Londrina-PR (NASCIMENTO, 2018).

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (BHERING et al., 2007), de textura muito argilosa, na tabela 1 se encontram os resultados da análise textural do solo.

Tabela 1. Caracterização granulométrica do solo.

Camada	Areia	Silte	Argila
(m)	----- g kg ⁻¹ -----		
0,0 – 0,2	56	229	715
0,2 – 0,4	60	228	712

Fonte: Firmano (2017).

Caracterização química do solo que antecede a aplicação dos tratamentos se encontra na tabela 2. As amostras foram coletadas na parcela testemunha e as análises químicas seguiram a mesma metodologia utilizada na avaliação das amostras do experimento, descritas no item “Coletas e análises”.

Tabela 2. Análise química do solo antes da implantação dos tratamentos.

Prof.	pH ¹	C	P	S	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H + Al	V%
(m)		g dm ⁻³	-- mg dm ⁻³ --		----- cmol _c dm ⁻³ -----					(%)
0 - 0,2	5,1	14	6,5	39	4,0	1,8	0,3	0,0	4,3	58
0,2 - 0,4	5,2	11	5,0	38	3,5	1,6	0,1	0,0	3,4	61

¹pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; C via extração em K₂Cr₂O₇; P e K⁺ extração em Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ em KCl 1 mol L⁻¹; S extraído em Ca(H₂PO₄); H + Al obtido em SMP.

Fonte: Nascimento (2018).

O experimento foi instalado sob delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial com mais um tratamento adicional como testemunha, sendo 4 x 2 + 1, com cinco repetições. As parcelas possuíam dimensões de 4 x 7 m. A área está sendo cultivada sob plantio direto desde o ano 2008, em um sistema de rotação de culturas envolvendo as culturas do trigo, soja e girassol, ao longo de 40 meses que compreendem o experimento.

3.2.2. Tratamentos

Na tabela 3 estão descritos os tratamentos. Assim, excetuando a testemunha, os tratamentos foram compostos pela aplicação de 2 Mg ha⁻¹ de calcário magnesiano, de acordo com as recomendações oficiais para o estado do Paraná, visando elevar a saturação de bases para 70% (PAULETTI; MOTA, 2017). Na sequência foram aplicadas quatro doses de gesso agrícola, sendo: 0; 0,35; 2 e 4 Mg ha⁻¹. Ambos, calcário e gesso foram aplicados de duas formas: com e sem incorporação no solo, e no caso da incorporação, ambos foram incorporados na

mesma operação. A testemunha, não recebeu calcário e gesso, porém teve o solo revolvido, possibilitando a comparação dos tratamentos. A aplicação de calcário e gesso se deu de uma única vez, sendo distribuídos manualmente na superfície do solo, em maio de 2010. A incorporação foi realizada com grade aradora de discos, tracionada por um trator de pneus, incorporando até a profundidade de 0,2 m, em seguida foi realizada uma gradagem leve para destorroar e nivelar o solo.

As quatro doses de gesso agrícola foram definidas da seguinte forma: (1) ausência de gesso; (2) dose 0,35 Mg ha⁻¹, a necessidade de S pelas plantas cultivadas; (3) dose de 2 Mg ha⁻¹, recomendação baseada na CTC e V% do solo, (VITTI et al., 2008); e, (4) 4 Mg ha⁻¹, NG= 50 x Argila (%) (SOUSA et al., 2001). Na Tabela 3 estão descritos os tratamentos.

Tabela 3. Tratamentos que compoem o experimento de calagem e gessagem com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).

Tratamentos	Calcário	Gesso	Forma de aplicação
	----- Mg ha ⁻¹ -----		
Adicional	0	0	Incorporado
1	2	0	Incorporado
2	2	0,35	Incorporado
3	2	2	Incorporado
4	2	4	Incorporado
5	2	0	Superficial
6	2	0,35	Superficial
7	2	2	Superficial
8	2	4	Superficial

Fonte: Nascimento (2018).

3.2.3. Cultivos, tratos culturais e produtividade

As culturas semeadas foram: o trigo BRS-Pardela visando 350 plantas por m² e espaçamento de 0,2 m entre linhas, com semeadura nos anos de 2010, 2011 e 2012, sendo que em 2010 a adubação foi realizada a lanço em superfície com 50 kg ha⁻¹ P₂O₅ (Superfosfato Triplo) + 50 kg ha⁻¹ K₂O (Cloreto de Potássio) + 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Uréia), em 2011 e 2012 as adubação foram no sulco de semeadura, aplicando algumas formulações contendo N/P/K nas doses de 230 kg ha⁻¹ com concentrações de 00-20-20 e 08-28-16 com 250 kg ha⁻¹, respectivamente, sendo que em ambas as safras houve complemento de 30 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, em superfície.

Nas safras de 2010/11 e 2012/13 as cultivares de soja BRS 295 RR e BRS

360 RR foram semeadas, ambas objetivando 300.000 plantas por hectare, com a adição de 230 kg ha⁻¹ de um formulado contendo N/P/K nas concentrações de 00-20-20.

Já nas safras de 2011/12 e 2013 as cultivares de girassol BRS-321 e BRS-323 foram almejando a densidade de 85.000 e 62.000 plantas por hectare, com a adição de 300 kg ha⁻¹ de 08-20-20 e 14-15-15, nos respectivos anos, ambos no sulco de semeadura, com a suplementação de 45 kg ha⁻¹ N (Uréia) em superfície.

Os tratos culturais seguiram as recomendações da Embrapa. Para o trigo, conforme as recomendações publicadas no manual de Informações Técnicas para Trigo e Triticale - Safra 2011 (RCBPTT, 2010). Para a soja segundo as recomendações oficiais segundo o Sistema de Produção 14 (EMBRAPA, 2010) e para o girassol de acordo com a publicação “Girassol” da Embrapa Soja (2018).

As avaliações de produtividade foram realizadas com as culturas na fase de maturidade fisiológica. As plantas foram colhidas com auxílio de colhedoras de parcela, aproveitando a largura da plataforma de cerca de 1 metro, pela extensão da parcela, excetuando-se as bordaduras laterais, bem como 0,5 m iniciais e finais da parcela. As produtividades foram padronizadas quanto à umidade dos grãos, para a cultura da soja e trigo adotou-se como padrão a umidade de 130 g kg⁻¹, e no caso do girassol de 110 g kg⁻¹.

3.2.4. Coleta e análises químicas de solo

Nos anos de 2011 e 2012, depois da colheita do trigo, durante o mês de outubro e em 2013, depois da colheita do girassol, em setembro, foram realizadas as coletas das amostras de solo, aproximadamente 18, 30 e 40 meses após o início do experimento. Os pontos amostrais foram alocados aleatoriamente dentro da parcela, seguindo a proporção de 1/3 das amostras na linha de semeadura, e 2/3 nas entrelinhas, totalizando cinco pontos amostrais por parcela. As profundidades de amostragem para análise do solo foram de 0 - 0,1 e 0,1 - 0,2 m de profundidade para 2011 e 2012 e 0 - 0,1 e 0 - 0,2 m para 2013. As coletas foram realizadas com auxílio de uma vanga.

Após a coleta, as amostras foram acomodadas em estufas para secagem, trituradas e peneiradas em malha de 2 mm. Então, foram analisadas de acordo com as metodologias descritas em Embrapa (2009), exceto para S. As determinações de pH foram realizadas em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ na proporção 1:2,5 solo/solução extratora. A extração dos nutrientes seguiu a proporção 1/10 entre solo x solução extratora, para P e K⁺ em solução ácida de Mehlich-1 (H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹), para Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ a extração

foi realizada em $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ e H^+Al com o uso da solução tampão SMP. A matéria orgânica foi determinada segundo metodologia de Walkley-Black. O enxofre foi extraído em fosfato de cálcio (CaHPO_3) $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e quantificado por turbidimetria com BaSO_4 (ALVAREZ et al., 2001).

3.2.5. Coleta e análises químicas de tecido foliar

Procedeu-se a amostragem foliar de forma aleatória dentro da parcela. No trigo, foram coletadas 50 folhas bandeira por parcela no início do florescimento. Para a cultura da soja foram coletados 30 trifólios, sendo o terceiro trifólio completamente expandido com pecíolo, do ápice para a base da planta, no início do florescimento. Para o girassol, foram trinta folhas, sendo a quinta abaixo do capítulo, coletadas no início do florescimento.

Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel craft, em seguida levadas para as estufas de circulação forçada de ar a temperatura à 45°C , permanecendo por um período de 48 horas ou até que estivessem secas com peso constante. Após, foram trituradas em moinho de facas, tipo Willey, armazenadas em frascos plásticos e encaminhadas para o laboratório.

Para a análise de tecido, foram pesados 250 mg em tubos de teflon, adicionando-se 6 mL da mistura digestora de ácido nítrico (HNO_3 65% v/v) e 2 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Procedeu-se a digestão úmida em forno micro-ondas, e após a digestão os extratos foram avolumados e submetidos à determinação via espectrofotometria de emissão atômica, para os teores de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e Mn. Em outra etapa, foram pesados 100 mg de tecido em tubos de vidro para digestão sulfúrica, com a adição de 5 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e 2 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), procedendo-se à digestão em blocos sob aquecimento até a completa digestão. Após o resfriamento, os extratos foram submetidos a destilação e leitura pelo método Kjeldhal, para a determinação dos teores de N. As análises foliares seguiram metodologias da Embrapa (2009).

3.2.6. Estatística

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados, bem como a homogeneidade das variâncias pelo teste de Hartley, ambos com 95% de confiabilidade. Após testados os pressupostos, seguiram-se com a análise de variância, e no caso de diferença significativa entre as médias da forma de aplicação, foi

aplicado o teste de “tukey” a 95% de probabilidade de confiança. Já para as doses de gesso agrícola, foram aplicadas as análises de regressão. Quando a interação foi significativa, as doses de gesso foram desdobradas dentro de cada forma de aplicação, e para cada dose comparou-se as formas de aplicação. Também foi avaliado o comportamento do fatorial versus a testemunha. O programa estatístico “R” foi utilizado para as análises.

3.3. Resultados e discussão

3.3.1. Atributos químicos do solo

Na tabela 4 estão apresentados os resultados das análises de solo, dos anos de 2011, 2012 e 2013.

Carbono, potássio e o alumínio foram pouco alterados pelos tratamentos, devido a isso não serão discutidos ao longo do trabalho. O pH do solo foi superior a testemunha, em todas as profundidades e amostragens (Tabela 4). Isso se deve majoritariamente a calagem, pois a gessagem não promoveu alterações, com exceção aos 40 meses de 0 – 0,2 m, quando observado à interação entre os fatores, em que a aplicação doses de gesso em superfície promoveu acréscimos lineares no pH, porém, nas doses de 0 e 0,35 Mg ha⁻¹ a incorporação foi a mais eficiente na correção, o inverso do observado na maior dose.

Os acréscimos de pH promovidos pelas doses de gesso agrícola são atribuídos as trocas de ligantes, entre SO₄⁻ e OH⁻, podendo formar complexos através de mecanismo conhecidos como “self-liming”; também podem ser formados complexos, reduzindo a saturação de Al e H+Al (CRUSCIOL et al., 2016 a, b; 2017).

A incorporação do calcário foi mais eficiente em elevar o pH do solo até 0,2 m aos 18 meses e 0,1 aos 30 meses. Ou seja, a incorporação foi mais eficiente na correção do pH, pelo menos até o 30º mês de 0 – 0,1 m, discordando de muitos trabalhos em que a correção da camada superficial é mais efetiva com a aplicação superficial (AULER et al., 2017; CONTE et al., 2017), isso se deve ao efeito criado pelo calcário, uma vez que as elevadas doses relatadas da literatura formam frentes de alcalinização, corrigindo o pH, formando OH⁻ e HCO⁻, gerando cargas negativas, como relatado por Alleoni, Cambri e Caires (2005), Crusciol et al. (2016a, 2017) alcançando profundidades de 0,05 ou 0,1 m do solo, doses mais elevadas de calcário de até 8 Mg ha⁻¹, diferente das 2 Mg ha⁻¹ aplicadas no presente trabalho, possivelmente insuficientes para tais efeitos.

Tabela 4. Análises de variância e médias de pH (CaCl₂) e H+Al, dos solos nos anos de 2011, 2012 e 2013, sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).

Gesso Mg ha ⁻¹	2011 (18 meses)		2012 (30 meses)		2013 (40 meses)		2011 (18 meses)		2012 (30 meses)		2013 (40 meses)	
	0 – 0,1 m.						0,1 – 0,2 m.					
	Sup ¹	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc
pH(CaCl₂)												
Test	5		4,90		5		5		5		5	
0	5,17 ²	5,36	5,16	5,29	5,22	5,37	5,17	5,36	5,18	5,15	5,05 b	5,34 a
0,35	5,34	5,49	5,27	5,41	5,35	5,49	5,34	5,49	5,24	5,28	5,17 b	5,36 a
2	5,18	5,50	5,18	5,47	5,27	5,43	5,18	5,50	5,19	5,39	5,36	5,37
4	5,21	5,37	5,18	5,33	5,29	5,34	5,10	5,37	5,13	5,19	5,50 a	5,32 b
Dose (D)	ns		ns		ns		ns		ns		L/0,95*	ns
Forma (F)	5,22 b	5,43 a	5,20 b	5,37 a	5,28	5,41	5,20 b	5,43 a	5,18	5,25	5,27	5,35
D X F	ns		ns		ns		ns		ns		*	
Fat x Test	*		*		*		*		*		*	
CV (%)	3,89		4,40		3,49		3,98		3,86		3,90	
H+Al (cmol_c dm⁻³)												
Test	4,60		5,41		3,71		4,07		5,37		3,48	
0	4,01	3,88	4,84	4,57	3,93	3,42	3,25 b	4,13 a	4,98	5,09	2,70	3,40
0,35	3,84	3,80	4,64	4,31	3,66	3,27	3,10 b	4,08 a	4,77	4,85	2,74	3,20
2	3,93	3,52	5,07	4,27	3,00	3,40	3,56	3,81	4,93	4,78	2,82	3,32
4	3,89	3,84	5,07	4,47	3,04	3,48	3,17 b	4,19 a	5,07	4,96	2,81	3,40
Dose (D)	ns		ns		ns		Q/0,69*	ns	ns		ns	
Forma (F)	3,92	3,76	4,90 a	4,40 b	3,41	3,39	3,27	4,05	4,94	4,92	2,77	3,33
D X F	ns		ns		ns		*		ns		ns	
Fat x Test	*		*		ns		*		*		*	
CV (%)	10,81		11,28		10,74		13,50		8,86		10,99	

¹“Sup” aplicação em superfície, sem incorporação e “Inc” quando os tratamentos foram incorporados ao solo. ²Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de tukey a 95% de probabilidade de confiança, *Significativo a 95% e ** a 99% de confiança.

Fonte: Nascimento (2018).

A aplicação de calcário e gesso reduziu os teores de H+Al (Tabela 4), com exceção aos 40 meses de 0 – 0,1 m. A aplicação de gesso não promoveu alterações, e apenas aos 18 meses, de 0,1 – 0,2 m, houve redução com aplicação superficial, sendo mais efetiva que a incorporação nas doses 0, 0,35 e 4 Mg ha⁻¹, similar ao comportamento do pH.

A saturação de bases (V%) foi elevada em todas as profundidades e amostragens (Tabela 5), esse comportamento está de acordo com o aumento do pH, Ca²⁺ e Mg²⁺ com relação positiva, ao contrário do Al³⁺ e H+Al, ambos na camada de 0 – 0,1 m. Rossato et al. (2017) e Crusciol et al. (2016a, 2017) atribuíram o aumento na saturação de bases a calagem, independente da aplicação do gesso ou devido a aplicação combinada em profundidades de até 0,2 m, que também está de acordo com os resultados deste trabalho, nos quais as doses de gesso não alteraram essa variável. Outros trabalhos como de Nora et al. (2014) encontraram resultados de aumento na saturação por bases, porém, detectados somente em profundidades abaixo de 0,25 m.

Aos 18 meses a incorporação foi mais eficiente no aumento da saturação de bases de 0 – 0,1 m, superior também nas doses de 0 e 0,35 Mg h⁻¹ de 0 – 0,1 m aos 40 meses. No entanto, aos 40 meses de 0 – 0,2 m, a aplicação superficial foi mais efetiva no aumento da saturação, portanto com efeito mais duradouro. Para Ca²⁺, Mg²⁺ e pH, a incorporação foi mais eficiente pelos efeitos rápidos e alcançando até 0,1 m, concordando com Caires et al. (2006b) e Alleoni, Cambri e Caires (2005), que encontraram efeitos abaixo de 0,05 m somente sob incorporação. Neste mesmo contexto, Crusciol et al. (2016a) obtiveram acréscimos mais consistentes com a aplicação combinada entre calcário e gesso.

A aplicação combinada de calcário e gesso elevou os teores de fósforo do solo em relação a testemunha, isso pode ser notado no solo entre 0,1 – 0,2 m aos 18 e 0 – 0,2 m aos 30 e 40 meses (Tabela 5). Esse efeito possivelmente se dá pela correção do solo atribuída ao calcário, que por sua vez elevou o pH do solo (tabela 4). E, estão de acordo com Costa et al. (2016); Castro e Crusciol (2013); Crusciol et al. (2017); Rossato et al. (2017) que encontraram acréscimo nos teores de fósforo até 0,2 m, após a calagem. A correção do pH aumenta a quantidade de OH⁻ na solução, diminuindo a adsorção do fósforo e aumentando a solubilidade dos fosfatos de Ferro e Alumínio, aumentando assim a quantidade de P disponível (CASAGRANDE et al., 2003; CAMARGO et al., 2010).

Tabela 5. Análises de variância e médias de saturação de bases (V%) e fósforo (P), dos solos nos anos de 2011, 2012 e 2013, sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).

Gesso Mg ha ⁻¹	2011		2012		2013		2011		2012		2013	
	0 – 0,1 m.						0,1 – 0,2 m.					
	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc
----- V% (cmol _c dm ⁻³) -----												
Test	57		44,25		61		60		45,73		60	
0	59,79	65,79	52,65	54,49	56,14 b	64,12 a	63,59	62,79	51,10	50,97	70,01	65,64
0,35	64,08	67,97	54,60	56,56	62,19 b	67,58 a	68,14	63,62	54,55	53,55	70,62	68,39
2	63,02	69,47	52,85	56,10	66,25	66,67	64,67	66,45	53,25	53,99	70,79	65,30
4	62,12	66,36	51,97	53,35	66,28	66,13	66,80	63,25	51,58	51,97	69,54	64,46
Dose (D)	ns		ns		L/0,65*		ns		ns		ns	
Forma (F)	62 b	67 a	53,02	55,13	63	66	66	64	52,62	52,62	70 a	66 b
D X F	ns		ns		*		ns		ns		ns	
Fat x Test	*		*		*		*		*		*	
CV (%)	8,16		9,39		6,94		6,53		10,31		5,03	
----- P (mg dm ⁻³) -----												
Test	8,56		8,46		13,35		4,45		5,99		8,46	
0	9,82	9,16	21,73	12,71	12,16	11,39	7,43	4,49	8,11	7,83	12,16	11,39
0,35	9,48	11,64	16,91	10,20	10,21 a	8,67 b	8,16	4,72	8,75	7,00	10,21	8,67
2	6,98	8,38	14,72	10,63	11,90 a	8,88 b	7,23	3,89	8,31	8,06	11,90	8,88
4	5,96	7,60	19,68	12,90	9,40	9,12	7,70	4,46	8,95	7,31	9,40	9,12
Dose (D)	L/0,85**		ns		Q/0,5*		ns		Q/0,42*		ns	
Forma (F)	8,06 b	9,19 a	18,26 a	11,61 b	10,92	9,51	7,63 a	4,39 b	8,53 a	7,55 b	10,92 a	9,52 b
D X F	ns		ns		*		ns		ns		ns	
Fat x Test	ns		*		ns		*		*		*	
CV (%)	23,11		39,99		18,87		29,48		18,12		18,87	

¹“Sup” aplicação em superfície, sem incorporação e “Inc” quando os tratamentos foram incorporados ao solo. ²Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de tukey a 95% de probabilidade de confiança, *Significativo a 95% e ** a 99% de confiança.

Fonte: Nascimento (2018).

Com exceção a 0 – 0,1 m aos 18 e aos 40 meses, os teores de P do solo foram inferiores nos tratamentos com incorporação, isso se deve ao efeito de fixação de fósforo nos solos, uma vez que aumenta o contato entre o P e o solo na profundidade de 0,1 – 0,2 m, nessa profundidade a maior fixação do P.

O aumento nas doses de gesso promoveu pequena diminuição nos teores de fósforo (tabela 5) em ambas as profundidades nos anos de 2011 e 2013. Esses resultados estão em desacordo com os dados da literatura, uma vez que os resultados de Michlovicz et al. (2014) e Vicensi et al. (2016) trabalhando com doses de até 12 Mg ha⁻¹ não relatam alterações nos teores de fósforo. Enquanto, Caires et al. (2011) e Crusciol et al. (2014) verificaram acréscimos nos teores, justificando a alteração devido a constituição do gesso aplicado, resíduos da indústria de fertilizantes com pequenas quantidades de fósforo em sua composição. Entretanto, todos estes trabalhos relatados foram estabelecidos com ausência de revolvimento do solo, minimizando a fixação de fósforo, diferente do presente estudo.

Na Tabela 6, as doses de gesso promoveram acréscimos lineares nos teores de Ca²⁺, porém, somente na primeira amostragem aos 18 meses de 0 – 0,2 m, devido a reação rápida e preferencial, enquanto que a reação do calcário ocorrer ao longo do tempo. Assim, a aplicação conjunta de calcário e gesso promove melhorias no solo de forma equilibrada, o gesso por sua vez aumenta rapidamente os teores de Ca²⁺ alcançando maiores profundidades em menos tempo (FOLONI et al., 2008; RAMPIM et al., 2011; SORATTO e CRUSCIOL, 2008).

A aplicação conjunta de calcário e gesso aumentou os teores de Ca²⁺, porém esse efeito não permaneceu até a amostragem dos 40 meses na profundidade de 0 – 0,1 m, possivelmente pela pequena dose de calcário, de apenas 2 Mg ha⁻¹, uma vez que o solo tende a acidificar ao longo do tempo e dos cultivos, principalmente nas camadas superficiais do solo (COSTA et al., 2016; FANCHINI et al., 2007; PAVAN; ROTH, 1992)

Aos 18 meses a incorporação elevou os teores Ca²⁺ com maior intensidade que a aplicação superficial, diferente da amostragem aos 30 meses, somente em 0 – 0,1 m, com um efeito residual da aplicação em superfície. Nas demais amostragens a forma de aplicação foi indiferente. A aplicação superficial de calcário promove a correção do pH na superfície do solo, aumentando a quantidade de cargas negativas livres e com isso a retenção de cátions, normalmente de 0 – 0,05 m, limitando o efeito em maiores profundidades, de tal forma que as aplicações incorporadas são responsáveis pelas correções das camadas subsuperficiais, entre 0,05 e 0,2 m, além da reação ocorrer mais rapidamente, como observado aos 18 meses (BORTOLANZA; KLEIN, 2016; CAIRES et al., 2006; CRUSCIOL et al., 2016b).

Tabela 6. Análises de variância e médias de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), dos solos nos anos de 2011, 2012 e 2013, sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).

Gesso Mg ha^{-1}	2011		2012		2013		2011		2012		2013	
	0 – 0,1 m.		0 – 0,1 m.		0 – 0,1 m.		0,1 – 0,2 m.		0,1 – 0,2 m.		0 – 0,2 m.	
	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc
Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)												
Test		4,01		2,62		3,66		4,15		3,05		3,48
0	3,68	4,74	3,25	3,23	3,15	4,09	3,71	4,31	3,36	3,46	3,85	3,98
0,35	4,45	5,07	3,53	3,33	3,85	4,32	4,52	4,93	3,75	3,59	4,18	4,40
2	4,52	5,33	3,89	3,32	3,92	4,03	4,52	5,33	3,92	3,75	4,60	4,06
4	4,44	5,27	3,73	3,32	4,11	3,99	4,44	5,27	3,74	3,73	4,60	4,05
Dose (D)	L/0,43*		ns		ns		L/0,47*		ns		ns	
Forma (F)	4,27 b	5,10 a	3,60 a	3,30 b	3,76	4,11	4,29 b	4,96 a	3,69	3,63	2,77	3,33
D X F	ns		ns		ns		ns		ns		ns	
Fat x Test	*		*		ns		*		*		*	
CV (%)	15,81		14,10		14,48		15,72		14,80		11,41	
Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)												
Test		1,71		1,41		1,92		1,85		1,34		1,51
0	2,05	2,47	1,77	1,94	1,73	1,73	1,87	2,13	1,65	1,70	2,15	2,26
0,35	2,20	2,59	1,78	1,99	1,82 b	2,16 a	1,99	2,01	1,79	1,80	2,10	2,22
2	1,95	2,34	1,51	1,83	1,68 b	2,37 a	1,89	2,09	1,62	1,64	2,00	1,87
4	1,64	1,99	1,38	1,55	1,50 b	2,49 a	1,75	1,79	1,41	1,45	1,53 b	1,75 a
Dose (D)	L/0,89 **		L/0,98**		L/0,86*		L/0,72*		L/0,81**		L/0,83**	
Forma (F)	1,96 b	2,35 a	1,61 b	1,83 a	1,68	2,19	1,87 b	2,01 a	1,62	1,65	1,95	2,03
D X F	ns		ns		*		ns		ns		*	
Fat x Test	*		*		ns		ns		*		*	
CV (%)	19		16,64		18,77		11,32		17,00		13,85	

¹“Sup” aplicação em superfície, sem incorporação e “Inc” quando os tratamentos foram incorporados ao solo. ²Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de tukey a 95% de probabilidade de confiança, *Significativo a 95% e ** a 99% de confiança.

Fonte: Nascimento (2018).

Os tratamentos com calagem e a gessagem elevaram os teores de magnésio em relação a testemunha, isso foi observado até o 30º mês na profundidade de 0 - 0,1 m (Tabela 6), porém as doses de gesso reduziram os teores de magnésio sob comportamento linear, a exceção da amostragem aos 40 meses na profundidade 0 – 0,1 m com incorporação. Essa redução nas camadas superficiais do solo, atribuída a aplicação de gesso é bastante registrada na literatura (BASSO et al., 2015; BLUM et al., 2014; CRUSCIOL et al., 2016a, b). Devido a menor energia de ligação dada pela menor valência e raio iônico hidratado do magnésio em relação ao cálcio, que por sua vez está presente em maiores concentrações (CAIRES et al., 2003; CRUSCIOL et al., 2017).

Já na camada de 0,1 – 0,2 m os teores de magnésio foram superiores a testemunha apenas no 30º e 40º mês. Aos 18 meses, de 0,1 – 0,2 m, a calagem não alterou os teores de magnésio, diferentemente da gessagem, devido a maior velocidade de reação do gesso, que logo alterou a concentração no solo (RAIJ, 1988; DIAS, 1992).

O calcário magnesiano forneceu magnésio, aumentando consideravelmente os teores no solo, porém, com alcance limitado às camadas superficiais. A aplicação combinada com gesso tem melhorado quimicamente o solo pelo deslocamento do magnésio, corrigindo o solo abaixo de 0,1 m (CAIRES et al., 2011a; CONTE et al., 2017; ERNANI et al., 2001; QUAGGIO et al., 1993; ROSSATO et al., 2017; SERAFIM et al., 2012), que por muitas vezes tem elevado mais os teores de magnésio do que o de cálcio (NORA et al., 2014). Mesmo com o deslocamento do magnésio da camada superficial, os teores se mantiveram acima da testemunha.

O gesso reduziu os teores de magnésio quando foi aplicado em superfície, isso foi observado até 0,2 m aos 18 meses, até 0,1 m aos 30 meses e nas doses a partir de 0,35 Mg ha⁻¹ para 40 meses. Os resultados encontrados estão de acordo com Alleoni, Cambri e Caires (2005); Bortolanza e Klein (2016); Caires, Joris e Churka (2011) e Caires et al. (2004; 2006) mostrando que a ausência de incorporação concentram os efeitos nas camadas superficiais do solo.

A saturação de cálcio na CTC foi maior que a testemunha em praticamente todas as amostragens (Tabela 7). Aos 18 meses, as doses de gesso promoveram acréscimos lineares na saturação de Ca na CTC até 0,2 m. Aos 40 meses, somente com a aplicação superficial observaram acréscimos lineares em ambas as profundidades, quando as doses de 2 e 4 mg ha⁻¹ aplicadas em superfície também foram mais eficientes do que a incorporação, enquanto que aos 18 meses de 0 – 0,1 m, a incorporação teve a maior saturação.

A aplicação de calcário e magnésio elevaram a saturação de magnésio em relação a testemunha (Tabela 7). A saturação de magnésio teve queda linear em função do aumento nas doses de gesso, com exceção a aplicação incorporada aos 40 meses de 0 – 0,1 m. Resultado já esperado uma vez que os teores de magnésio no solo foram reduzidos.

Na camada de 0 – 0,1 m aos 18 e 40 meses, nas doses a partir de 0,35 Mg ha⁻¹, a aplicação superficial reduziu a saturação de magnésio, ao contrário de 2012, aos 30 meses. Aos 18 meses a incorporação reduziu com maior intensidade a saturação de magnésio de 0,1 – 0,2 m.

Em geral, a relação Ca/Mg dos tratamentos não diferiu das testemunhas (Tabela 8), a exceção aos 18 meses de 0,1 – 0,2 m. A correção do solo com calcário dolomítico normalmente reduz a relação Ca/Mg, devido ao aumento dos teores de magnésio, mas, nesse caso a aplicação de gesso aumentou os teores de Ca, concomitante com a redução do Mg, sob comportamento linear em função das crescentes doses de gesso. Caires et al. (2011), testando doses de gesso, também encontraram acréscimos lineares na relação Ca/Mg, aumento do cálcio e a redução do magnésio principalmente nas camadas superficiais, bem como aumento de Ca e K nas plantas. Somente na avaliação dos 40 meses de 0 – 0,1 m com incorporação verificou-se redução na relação Ca/Mg.

Tabela 7. Análises de variância e médias de saturação cálcio na CTC (Ca/T) e magnésio na CTC (Mg/T), dos solos nos anos de 2011, 2012 e 2013, sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).

Gesso Mg ha ⁻¹	2011		2012		2013		2011		2012		2013	
	0 – 0,1 m.						0,1 – 0,2 m.					
	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc
Ca/T(%)												
2		37,32		27,00		38,03		40,45		30,80		39,26
0	36,65	41,59	31,74	32,19	32,9 b	42,8 a	41,34	42,40	32,84	33,24	42,66	39,96
0,35	41,30	42,59	34,35	33,47	39,5	42,5	46,10	43,77	35,42	34,26	44,59	43,31
2	42,19	45,71	36,26	34,01	43,6 a	39,5 b	44,41	46,70	36,61	36,04	47,73 a	42,12 b
4	43,25	45,94	35,43	34,67	45,6 a	38,8 b	46,40	46,15	35,70	36,00	49,88 a	42,08 b
Dose (D)	L/0,75**		ns		L/0,76*		ns		L/0,65*		ns	
Forma (F)	40,85 b	43,96 a	34,44	33,59	40,41	40,91	44,5	44,9	35,15	34,89	46,22	41,86
D X F	ns		ns		*		ns		ns		*	
Fat x Test	*		*		ns		*		*		*	
CV (%)	9,98		11,24		11,43		10,53		11,40		9,39	
Mg/T(%)												
Test		15,95		14,51		19,98		18,40		13,52		17,16
0	20,46	21,62	17,36	19,31	19,25	18,08	20,82	19,16	16,18	16,38	23,89	22,80
0,35	20,46	21,79	17,35	20,05	18,71 b	21,39 a	20,31	17,91	17,01	17,19	22,49	21,85
2	18,20	20,10	14,06	18,78	18,78 b	23,21 a	18,60	18,36	15,05	15,79	20,71	19,48
4	15,97	17,35	13,03	16,20	16,70 b	24,19 a	18,22	15,68	13,44	14,02	16,57	18,20
Dose (D)	L/0,98**		L/0,97**		L/0,83*		L/0,74*		L/0,97**		L/0,90**	
Forma (F)	19 b	20 a	15,45 a	18,58 b	18	22	19 a	18 b	15,42	15,85	21	21
D X F	ns		ns		*		ns		ns		ns	
Fat x Test	*		*		ns		ns		*		*	
CV (%)	14,52		16,75		13,23		10,53		15,12		12,89	

¹“Sup” aplicação em superfície, sem incorporação e “Inc” quando os tratamentos foram incorporados ao solo. ²Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de tukey a 95% de probabilidade de confiança, *Significativo a 95% e ** a 99% de confiança.

Fonte: Nascimento (2018).

As doses em destaque foram de 2 e 4 Mg ha⁻¹, a partir de 30 meses de 0 – 0,1 m e aos 40 meses de 0 - 0,2 m com a aplicação superficial aumentando a relação Ca/Mg.

A doses de gesso agrícola elevaram os teores de enxofre na avaliação aos 18 meses, com acréscimos lineares (Tabela 8). Com menor intensidade esse efeito permaneceu até os 30 meses de 0 – 0,2 m, e aos 40 meses apenas na camada de 0 – 0,2 m, sob comportamento quadrático. Os acréscimos nos teores de sulfato do solo devido a aplicação de gesso podem são relatados na literatura dentro de alguns dias (NOGUEIRA; MELO, 2003), ou em poucos meses (FOLONI et al, 2008; RAMPIM et al, 2011). As camadas superficiais do solo com acúmulo de MO, e com o aumento de cargas negativas livres na CTC pelo efeito da calagem, leva a repulsão das cargas negativas do sulfato deslocando-o e reduzindo a concentração nas camadas superficiais, como observado neste trabalho (CASAGRANDE et al., 2003).

A aplicação sem incorporação foi mais efetiva na correção da camada de 0 – 0,1 m até os 40 meses, enquanto que de 0,1 – 0,2 m esse comportamento foi observado somente aos 30 meses, porém, a incorporação foi mais efetiva para aumentar o teor de S-SO₄ já aos 18 meses. Assim como os resultados de Channon e Thibaud (2000), Blum et al. (2014), Farina, e Nora et al, (2014) e Crusciol et al. (2017), o comportamento do sulfato, quanto a sua mobilidade no perfil, é mais acentuada quando combinado com a calagem. Nesse caso, a aplicação em superfície manteve os teores mais elevados na primeira amostragem, com tendência de acompanhamento da reação do calcário, assim como pelo comportamento do cálcio e magnésio, deslocados como íons acompanhantes do SO₄²⁻, formando par iônico neutro (COSTA; CRUSCIOL, 2016).

Tabela 8. Análises de variância e médias da relação cálcio/magnésio (Ca/Mg) e teores de sulfato (S-SO₄), dos solos nos anos de 2011, 2012 e 2013, sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).

Gesso Mg ha ⁻¹	2011		2012		2013		2011		2012		2013	
	0 – 0,1 m.		0 – 0,1 m.		0 – 0,1 m.		0,1 – 0,2 m.		0,1 – 0,2 m.		0 – 0,2 m.	
	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc
S-SO₄ (mg dm⁻³)												
Test		24		15		21		52		18		20
0	46 a	28 b	24	11	26 a	16 b	26	59	26	24	17	21
0,35	67 a	30 b	24	12	20 a	14 b	42	78	32	23	21	15
2	123 a	45 b	28	15	24 a	15 b	91	104	43	27	39	35
4	117 a	54 b	28	24	21	17	99	120	49	44	24	25
Dose (D)	L/0,73*	L/0,98**	L/0,99**		ns	ns	L/0,89**		L/0,99**		Q/0,89*	
Forma (F)	88	39	26 a	16 b	23 a	15 b	65 b	90 a	38 a	29 b	25	24
D X F		*	ns			*	ns		ns		ns	
Fat x Test		*	ns			ns	*		*		ns	
CV (%)	60,02		41,70		25,41		45,43		44,16		48,54	
Ca/Mg												
Test		2,37		1,89		1,91		2,19		2,34		2,30
0	1,79	1,95	1,83	1,67	1,70 b	2,38 a	1,97	2,23	2,04	2,06	1,80	1,76
0,35	2,03	1,97	1,99	1,69	2,12	1,99	2,27	2,47	2,08	2,01	2,00	1,99
2	2,33	2,28	2,58 a	1,84 b	2,33 a	1,70 b	2,39	2,57	2,45	2,30	2,31	2,18
4	2,72	2,66	2,73 a	2,14 b	2,76 a	1,61 b	2,56	2,96	2,70	2,59	3,02 a	2,31 b
Dose (D)	L0,99**		L/0,89*	L/0,98*	L/0,9*	L/0,76*	ns		L/0,99**		L/0,86**	L/0,98**
Forma (F)	2,21	2,21	2,28	1,84	2,23	1,92	2,15	2,50	2,32	2,24	2,28	2,06
D X F	ns		*		*		ns		ns		*	
Fat x Test	ns		ns		ns		*		ns		ns	
CV (%)	16,73		20,62		20,74		15,89		16,12		19,64	

¹“Sup” aplicação em superfície, sem incorporação e “Inc” quando os tratamentos foram incorporados ao solo. ²Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de tukey a 95% de probabilidade de confiança, *Significativo a 95% e ** a 99% de confiança.

Fonte: Nascimento (2018).

3.3.2. Atributos químicos do tecido foliar das culturas

Para o trigo 2010 e o girassol 2013, os teores de nitrogênio (N) nas folhas foram maiores no tratamento testemunha, entretanto, esse comportamento foi inversamente proporcional a produtividade, indicando que a menor concentração nos tratamentos com maiores produtividades é resultado do efeito diluição dos nutrientes. Além disso, a incorporação pode ter reduzido a disponibilidade de N no solo, com a mineralização da MO e consequentemente o aumento na atividade microbiana, competindo com as plantas pelo N, uma vez que a coleta das folhas foi realizada apenas dois meses após.

Por outro lado, os teores de N foliar na soja 2010/11 e no girassol em 2011/12 os teores foram superiores a testemunha (Tabelas 9 e 10). As respostas positivas na soja com a adição da calcário e gesso agrícola já foram discutidas por Caires et al. (2001, 2016a), Caires, Garbuio e Barth (2016), Costa e Crusciol (2016). Atribuindo o aumento dos teores foliares de N aos acréscimos no pH dos solos, beneficiando o processo de fixação simbiótica de N. Caires et al. (2016) ainda relatam que a redução nos teores de Mg está ligada à redução na absorção de N, em um efeito denominado “Mg-induced N uptake”, pois o aumento nas doses de gesso reduzem a disponibilidade de Mg para a absorção pelas plantas.

As doses de gesso não promoveram grandes alterações nos teores de N. Na literatura encontram-se inúmeros resultados, vários destes atribuindo o aumento nos teores de N foliar em função das crescentes doses de gesso, discordando dos resultados deste trabalho, uma vez que muitos resultados foram obtidos em condições de escassez hídrica, ou de melhorias na condição química em subsuperfície (CAIRES et al. 2004; MICHALOVICZ et al. 2014; RAMPIM et al. 2011).

A aplicação sem incorporação manteve os teores de N mais elevados apenas na soja em 2011.

Os tratamentos mantiveram os teores foliares de fósforo (P) das plantas de trigo 2010 e soja 2010/11 acima da testemunha, diferente do trigo 2012. As doses de gesso elevaram os teores foliares de P apenas para soja na safra de 2010/11, na aplicação superficial. A ausência de resultados em função das doses de gesso concorda com Vicensi et al. (2016), que não encontraram aumentos nos teores de P em folhas de trigo, também concordando com a ausência dos resultados no solo. Já os tratamentos envolvendo a calagem elevaram os teores de P, concordando com o aumento dos teores no solo (COSTA et al., 2016; CRUSCIOL et al. 2016a; SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

Tabela 9. Análises de variância e médias dos teores N, P, K, Ca, Mg e S em folhas de trigo (2010), soja e girassol (2011), sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).

Gesso Mg ha ⁻¹	N		P		K		Ca		Mg		S	
	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc
Trigo 2010												
Test		27		2		31		3,56		2,22		2,22
0	25	27	2,25	2,18	33 a	31 b	3,28	3,73	2,03	2,00	2,64 a	2,32 b
0,35	25	27	2,19	2,10	37 a	33 b	3,12	3,80	1,79 b	2,02 a	2,81 a	2,53 b
2	24	26	2,24	2,03	35 a	31 b	3,18	3,75	1,75 b	2,00 a	3,13 a	2,28 b
4	24	28	2,22	2,36	32	34	2,97	3,66	1,59 b	1,98 a	3,07	2,93
Dose (D)	ns		ns		Q/0,6*	ns	ns		L/0,78*	ns	L/0,7*	L/0,5*
Forma (F)	25 b	27 a	2,17	2,22	34	32	3,14 b	3,74 a	1,79	2	2,91	2,52
D X F	ns		ns		*		ns		*		*	
Fat x Test	*		*		*		ns		*		*	
CV (%)	6,59		8,44		8,36		13,08		10,53		14,12	
Soja 2010/11												
Test		46		2,65		15		5,65		3,78		1,73
0	53	49	2,67 b	3,03 a	14	15	4,81 b	5,61 a	3,50 b	3,67 a	1,87 a	1,73 b
0,35	55	49	3,10	2,92	18 a	15 b	5,42	5,56	3,78 a	3,60 b	1,90 a	1,76 b
2	56	50	3,53 a	3,07 b	17 a	15 b	6,07 a	5,57 b	3,88 a	3,66 b	2,20 a	1,73 b
4	55	49	3,88 a	2,88 b	18 a	15 b	5,63	5,63	3,72 a	3,47 b	2,12 a	1,75 b
Dose (D)	ns		L/0,9*	ns	L/0,34*	ns	Q/0,94*	ns	Q/0,76*	L/0,62*	L/0,62*	ns
Forma (F)	55 a	49 b	3,30	2,98	17	15	5,48	5,59	3,72	3,6	2,02	1,74
D X F	ns		*		*		*		*		*	
Fat x Test	*		*		ns		ns		*		*	
CV (%)	7,60		13,73		11,10		8,54		4,83		9,52	
Girassol 2011/12												
Test		43		2		27		22		9		2,65
0	45 a	43 b	1,92	2,03	28 a	25 b	23	25	9,44	10,03	2,82 a	2,61 b
0,35	45	44	1,86 b	2,01 a	26	27	23	24	8,44	8,68	2,64	2,58
2	43 b	45 a	1,98	1,95	25	26	22 b	27 a	8,75 b	9,68 a	3,06 a	2,89 b
4	45 b	47 a	1,80 b	2,08 a	26 b	29 a	20 b	25 a	7,55 b	9,67 a	2,69 b	3,00 a
Dose (D)	ns	L/0,98**	ns	ns	ns	L/0,64*	L/0,98*	ns	L/0,7**	ns	Q/0,6*	L/0,92*
Forma (F)	44	45	1,89	2,02	26	27	22	25	8,55	9,52	2,80	2,77
D X F	*		*		*		*		*		*	
Fat x Test	*		ns		ns		*		ns		*	
CV (%)	4,16		6,99		8,99		11,27		11,30		7,12	

¹“Sup” aplicação em superfície, sem incorporação e “Inc” quando os tratamentos foram incorporados ao solo.

²Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de tukey a 95% de probabilidade de confiança,

*Significativo a 95% e ** a 99% de confiança.

Fonte: Nascimento (2018).

Na safra de girassol de 2011, para as doses de 0,35 e 4 Mg ha⁻¹, a incorporação foi responsável pelos maiores teores de P nas plantas, estando de acordo com a correção de solo, uma vez que o aumento no pH do solo leva a maior disponibilidade de fósforo, possibilitando maior absorção, como ocorrido (CAIRES et al., 2001; RAIJ; QUAGGIO, 2008).

Já a aplicação em superfície sem incorporação manteve os teores de P foliar superior nas doses de 2 e 4 Mg ha⁻¹, para a soja em 2011 e na média das doses para trigo 2012 e girassol 2013, que também estão de acordo com a disponibilidade do nutriente no solo.

Para o trigo de 2010 e soja de 2010/11 a aplicação de calcário e gesso pouco alteraram os teores de potássio (K) das folhas, nestas safras a aplicação superficial foi mais eficiente em suprir K. A escassez hídrica no período que antecede ambas as safras podem ter influenciado a concentração foliar, uma vez que a dinâmica do potássio no solo se dá por difusão e o baixo índice pluviométrico pode ter reduzido o deslocamento, após a competição com cálcio e magnésio nos sítios de adsorção das argilas, ficando disponível à absorção pelas plantas.

Nas avaliações químicas do solo em 2011, os teores de cálcio e magnésio foram inferiores na aplicação superficial, possivelmente a menor competição com Ca²⁺ e Mg²⁺ possibilitou maior absorção de K⁺ pelas plantas. Esses resultados estão de acordo com Soratto e Crusciol (2008b), que estudando a aplicação de calcário e gesso em aveia preta, encontraram teores de K no tecido inversamente proporcional a disponibilidade de Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo.

Para o cálcio (Ca), a calagem e a gessagem elevaram os teores nas folhas do girassol de 2011 e diminuíram no girassol 2013, em relação a testemunha. Os resultados estão de acordo com os teores do solo. A ausência de acréscimos nos teores de Ca nas folhas de girassol em 2013 se deve a redução dos efeitos da aplicação de calcário e gesso, ao menos na camada de 0 – 0,1 m, como pode ser visto que a alta quantidade de chuva antecedendo a amostragem pode ter contribuído, pois os teores do solo em 0 – 0,2 m em 2013 ainda permaneceram acima da testemunha, além da extração por parte das plantas podem ter reduzido os teores do solo.

Mas, no caso da soja 2011, as doses de gesso elevaram os teores sob efeito quadrático, isso com a incorporação, porém a aplicação superficial foi mais efetiva em elevar os teores de Ca no trigo em 2010, bem como, nas doses 2 e 4 Mg ha⁻¹ no girassol de 2011. Não foram observados efeitos tão pronunciados nos teores de Ca, principalmente em função das doses de gesso, como os encontrados por Caires et al. (2001, 2004), Crusciol et al. (2016a, b), Michalovicz et al. (2014), isso pode ser explicado, de acordo com Minato et al. (2017); Soratto e Crusciol (2008a), devido aos teores de Ca²⁺ estarem em níveis adequados no solo, suprimindo a demanda da planta sem a necessidade de acréscimo na absorção, sobretudo no solo de estudo com caráter eutroférico.

Os teores de magnésio (Mg) foram influenciados com maior ênfase pelas doses de gesso, com redução nos teores foliares, observado em praticamente todas as avaliações. A redução do Mg no tecido seguiu o comportamento da relação Ca/Mg, similar aos

resultados encontrado por Blum et al. (2014), Soratto e Crusciol (2008c), nos quais os teores de Ca^{2+} foram elevados, reduzindo a disponibilidade de Mg^{2+} no solo, bem como, aumentando a competição na absorção radicular (MARQUES et al., 2008). A redução nos teores foliares de Mg em função da aplicação de gesso agrícola são reflexos da redução dos teores de magnésio do solo, principalmente em camadas superficiais (CAIRES et al., 2003, 2004; SORATTO; CRUSCIOL, 2007).

A aplicação superficial reduziu com maior intensidade os teores de Mg nos tecidos, isso foi observado nas doses de 0,35, 2 e 4 Mg ha^{-1} na cultura do trigo 2010, 2 e 4 Mg ha^{-1} no girassol 2011 e na média das doses no girassol em 2013. Esses resultados estão de acordo com a saturação por magnésio na CTC, especificamente na camada de 0 – 0,1 m.

Tabela 10. Análises de variância e médias dos teores N, P, K, Ca, Mg e S em folhas de trigo (2012), e girassol (2013), sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).

Gesso Mg ha^{-1}	N		P		K		Ca		Mg		S	
	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc
g kg^{-1}												
Trigo 2012												
Test		43		3		23		6,44		2,48		3,32
0	43	42	2,78	2,54	23	23	6,85	7,13	2,55	2,69	4,54 a	3,28 b
0,35	42	44	2,76	2,68	24	23	6,76	6,77	2,63	2,54	4,82 a	3,59 b
2	44	40	2,80	2,65	22	22	7,02	6,76	2,43	2,57	3,21 b	3,74 a
4	44	44	2,84	2,74	23 b	24 a	6,57	7,01	2,18	2,35	3,21 b	4,01 a
Dose (D)	ns		ns		ns	Q/0,99*	ns		L/0,97**		L/0,76*	L/0,88*
Forma (F)	43	42	2,80 a	2,65 b	23	23	6,8	6,92	2,45	2,54	3,95	3,66
D X F	ns		ns		*		ns		ns		*	
Fat x Test	ns		*		ns		ns		ns		*	
CV (%)	5,75		5,87		5,50		7,35		3,74		16,22	
Girassol 2013												
Test		41		1,76		30		19		5,39		3,23
0	38	39	2,03	1,69	30	28	16	18	5,22	5,72	2,88	3,06
0,35	39	40	1,79	1,89	26	31	17	17	4,62	5,10	3,00	2,91
2	35 b	41 a	2,02	1,70	27	29	18	17	4,45	5,41	3,04	3,10
4	34 b	39 a	2,00	1,58	30	29	16	17	4,74	5,29	3,12	3,10
Dose (D)	L/0,9*	ns	ns		ns		ns		*		ns	
Forma (F)	36	40	1,96 a	1,72 b	28,0	29,1	17	17	4,76 b	5,38 a	3,01	3,04
D X F	*		ns		ns		ns		ns		ns	
Fat x Test	*		ns		ns		*		ns		ns	
CV (%)	8,03		16,68		13,80		9,75		12,26		9,47	

¹“Sup” aplicação em superfície, sem incorporação e “Inc” quando os tratamentos foram incorporados ao solo.

²Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de tukey a 95% de probabilidade de confiança,

*Significativo a 95% e ** a 99% de confiança.

Fonte: Nascimento (2018).

Os teores de enxofre (S) do tecido foram alterados até a safra de trigo de 2012 com acréscimos lineares em função das doses de gesso. Os maiores teores foram encontrados com a aplicação superficial de gesso. Devido a elevada quantidade e disponibilidade de S-SO₄ no solo, principalmente até 0,2 m, até 30 meses, refletindo o teor foliar encontrado. Esse comportamento está de acordo com Caires et al. (2006); Crusciol et al. (2016b); Michaloviz et al. (2014); Minato et al. (2017); Vicensi et al. (2016), que avaliando doses de gesso aplicados em superfície, obtiveram acréscimos nos teores de S nas folhas em culturas, como o trigo, milho, cevada e soja. Também foram observados acréscimos nos teores de S das folhas com a calagem, pela correção do pH, aumentando a mineralização da matéria orgânica e a liberação de S-SO₄ adsorvidos (COSTA; CRUSCIOL, 2016); COSTA et al., 2016; SORATTO; CRUSCIOL (2014).

3.3.3. Produtividade

A aplicação de calcário e gesso promoveram acréscimos na produtividade do trigo em relação a testemunha, nas safras 2010 e 2011, mas não em 2012 (Tabelas 11 e 12). A correção dos atributos químicos de solo pela calagem, foi relacionado a maior disponibilidade de fósforo e a redução no H + Al, em especial na camada de 0,1 – 0,2 m. Porém, o aumento na produtividade de trigo nos tratamentos 0, 2 e 4 Mg ha⁻¹ de gesso em 2010 e na média das doses em 2011, está ligado a ausência de revolvimento do solo, ambas as safras sob déficit hídrico com o solo revolvido e exposto a maior perda de água, diferente da safra de trigo de 2012, com maior intensidade pluviométrica.

O gesso pouco afetou a produtividade do trigo, à exceção da safra de 2012, com tendência de queda na produtividade. Esses resultados estão em desacordo com a literatura, trabalhos de Vicensi et al. (2016), Michalovicz et al. (2014), Rampim e Lana (2015) avaliando a produtividade de trigo em função da aplicação de gesso, encontraram acréscimos lineares na produtividade, porém, no presente estudo não houve estresse hídrico e os níveis dos nutrientes estavam satisfatórios, diminuindo as chances de resposta da cultura.

Tabela 11. Produtividade do trigo (safras 2010 e 2011), da soja (safra 2010/11) e do girassol (safra 2011/12), sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).

Gesso (Mg ha ⁻¹)	Trigo 2010		Soja 2010/11		Trigo 2011		Girassol 2011/12	
	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc
Test		2237		3427		1888		1329
0	2947 a	2115 b	3388	3549	2371	1940	1808	1399
0,35	2536	2492	3405	3288	2410	2207	1583	1540
2	3059 a	2359 b	3195	3324	2411	2223	1693	1560
4	3000 a	2435 b	3517	3447	2263	2075	1737	1513
Dose (D)	L/0,27*	L/0,2**	Q/0,95*		ns		ns	
Forma (F)	2886	2350	3376	3402	2364 a	2111 b	1705 a	1503 b
D X F		*	ns		ns		ns	
Fat x Test		*	ns		*		*	
CV (%)		13,69	5,60		16,99		15,67	

¹“Sup” aplicação em superfície, sem incorporação e “Inc” quando os tratamentos foram incorporados ao solo. ²Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de tukey a 95% de probabilidade de confiança, *Significativo a 95% e ** a 99% de confiança.

Fonte: Nascimento (2018).

Na safra de soja de 2010/11 verificou-se comportamento quadrático em função das doses de gesso, com uma leve queda e posterior aumento na produtividade, enquanto que a produtividade de soja foi superior a testemunha apenas na safra de 2012/13, e com a maior produtividade com a aplicação superficial sem incorporação, na dose 4 Mg ha⁻¹. Os resultados foram pouco expressivos, mesmo na condição com menor quantidade de chuva para safra de 2010/11 e quantidade próxima ao normal para safra 2012/13, concordando com Blum et al. (2013), que não encontraram respostas com a aplicação de calcário e gesso em solos corrigidos.

Os tratamentos com calcário e gesso mantiveram as produtividades de girassol acima da testemunha nas safras de 2011/12 e 2013, ambas com maior produtividade na aplicação superficial. As doses de gesso promoveram acréscimos na produtividade apenas na safra de 2013, com efeito quadrático e dose de máxima produtividade com 2,26 Mg ha⁻¹ de gesso.

Tabela 12. Produtividade do trigo (safra 2012), da soja (safra 2012/13) e do girassol (safra 2013), sob aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem incorporação (Londrina/PR, 2018).

Gesso (Mg ha ⁻¹)	Trigo 2012		Soja 2012/13		Girassol 2013	
	Sup	Inc	Sup	Inc	Sup	Inc
Test		2155		3798		1735
0	2374	2301	4182	4032	1884	1640
0,35	2124 b	2425 a	3939	4101	1941	1933
2	2076 b	2523 a	4063	3990	2140	1796
4	2044	2249	4183 a	3913 b	2021	1763
Dose (D)	L/0,55**	ns	ns	ns	Q/0,66*	
Forma (F)	2155	2375	4092	3966	1997 a	1783 b
D X F		*		*	ns	
Fat x Test		ns		*	*	
CV (%)		9,74		5,91	11,37	

¹“Sup” aplicação em superfície, sem incorporação e “Inc” quando os tratamentos foram incorporados ao solo. ²Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de tukey a 95% de probabilidade de confiança, *Significativo a 95% e ** a 99% de confiança.

Fonte: Nascimento (2018).

3.4. Conclusões

A aplicação de calcário e gesso corrigiram a acidez, aumentando os teores de cálcio e magnésio, bem como, a saturação por bases e a saturação de cálcio na CTC. Elevando a disponibilidade de fósforo do solo. As doses de gesso elevaram os teores de cálcio, e ao mesmo tempo reduziram os de magnésio, aumentando a relação Ca/Mg e também elevaram os teores de sulfato do solo.

A incorporação do calcário e do gesso se mostrou mais eficiente nas correções do solo que a aplicação superficial.

Devido a fertilidade inicial do experimento estar corrigida, sob um latossolo de caráter eutroférico, não se firmaram relação consistentes entre os teores nutricionais do solo, teores foliares e as produtividades.

As produtividades das culturas foram elevadas com a calagem e a gessagem, porém pouco responsivas as doses de gesso. A produtividade das culturas foi menor nos tratamentos com incorporação, mostrando que o revolvimento do solo promoveu a melhor correção, porém as maiores produtividades foram obtidas na ausência de revolvimento.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos, Características e interpretações técnicas**. ANDA. 2005. 20 p.

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de Cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p.923-934, 2005.

ALMEIDA, D. O.; BAYER, C.; ALMEIDA, H. C. Fauna e atributos microbiológicos de um Argissolo sob sistemas de cobertura no Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1140-1147, 2016.

ALVAREZ, V. V. H. et al. **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas**. Viçosa/MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 131p.

ALVES, M. C.; SOUZA Z. M. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n. 6, p. 2505-2516, 2008.

AMADO, T. J. C. et al. Potencial de plantas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p.189-197, 2001.

ARF, O. et al. Gesso aplicado na superfície do solo no desenvolvimento do arroz de terras altas sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 18, n. 11, p.1136–1141, 2014.

AULER, A. C. et al. Effects of surface-applied and soil-incorporated lime on some physical attributes of a Dystrudept soil. **Soil Use and Management**, v. 33, p. 129-140, 2017.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. Gipsita. In. LUZ, A. B.; LINS, F. F. (Ed.) **Rochas e Minerais Industriais: Usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM, 2005. p. 449-470.

BASSO, C. J. et al. Intervenção mecânica e gesso agrícola para mitigar o gradiente vertical de cátions sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 4, p. 456-463, 2015.

BHERING, et al. **Mapa de Solos do Estado do Paraná**. 2007. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/339505>>. Acesso em: 26 fev. 2018.

BLUM, J. et al. Soil Chemical Attributes and Grape Yield as Affected by Gypsum Application in Southern Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. Londres-UK. v. 42, n. 2, p. 1434-1446. 2011.

BLUM, S. C.; CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F. Lime and phosphogypsum application and sulfate retention in subtropical soils under no-till system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 13, n. 2, p. 279-300. 2013.

BORTOLUZZI, E. C. et al. Soybean root growth and crop yield in response to liming at the beginning of a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 262-271, 2014.

BORTOLANZA, D. R.; KLEIN, V. A. Soil Chemical and Physical Properties on an Inceptisol after Liming (Surface and Incorporated) Associated with Gypsum Application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 1-13. 2016.

BORGES, E. N. et al. Misturas de gesso e matéria orgânica alterando atributos físicos de um latossolo com compactação simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa. v. 21, n. 1, p. 125-130, 1997.

BUBLITZ, U. **Evolução do sistema plantio direto no Paraná**. 2014. Disponível em: <http://febrapdp.org.br/download/EVOLUCAO_DO_SPD_NO_PARANA_2014.pdf> Acesso em: 19 abr. 2018.

CAIRES, E. F. et al. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E. F. et al. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 315–327, 1999.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função de calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.213-220, 2000.

- CAIRES, E. F. et al. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema de plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 1029-1040, 2001
- CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 275-286. 2003.
- CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 13, p. 125-136, 2004
- CAIRES, E. F. et al. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 370-379. 2006a.
- CAIRES, E. F. et al. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 5, p. 502–509, 2006b.
- CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil use and Management**. v. 27, n. 1, p. 45-53. 2011a.
- CAIRES, E. F. et al. Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 68, n. 2, p.209-216, 2011b.
- CAIRES, E. F. et al. Optimizing nitrogen use efficiency for no-till corn production by improving root growth and capturing NO₃-n in subsoil. **Pedosphere**. CHINA. v. 26, n. 4, p. 474-485, 2016.
- CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUJO, F. J. Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**. v. 89, n. 1, p. 3-12. 2016.
- CAMARGO, M. S. et al. Fósforo em solos de Cerrado submetidos à calagem. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 2. p. 187-194, 2010.
- CAODOBRASIL. **Análise do gesso agrícola - metais pesados** - setembro/2013. Disponível em: < <http://www.caodobrasil.com.br/?pg=produtos&codigo=12>>. Acesso em 23 jun. 2015.

CASAGRANDE, J. C. et al. Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas variáveis. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 51-59, 2003.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade e nutrição mineral de soja, milho e capim-ruziziensis influenciados por calcário e escória de siderurgia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 6, p. 673-681, 2013.

CIOTTA, M. N. et al. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 1055-1064, 2002.

CONTE et al. Enhancing surface liming rate on a no-till cropping system in an oxisol of Southern Brazilian. **African Journal of Agricultural Research**. v. 12, n. 39, p. 2954-2960. 2017.

CORRÊA, J.C. et al. Índices de acidez no perfil do solo e produtividade da soja em função da aplicação de biossólidos e resíduos industriais em sistema de plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26., 2004, Lages. Anais... Lages: SBCS/UDESC, 2004. 1 CD-ROM.

COSTA, M. J. et al. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, supl., p. 701-708, 2007.

COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean–oat–sorghum rotation and soil chemical properties. **European Journal of Agronomy**. Conthey, CH, v. 74, p. 119-132. 2016.

COSTA, C. H. M. et al. Residual effects of superficial liming on tropical soil under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1633-1642, 2016.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Effects of surface application of calcium magnesium silicate and gypsum on soil fertility and sugarcane yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1843-1854, 2014.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system. **Catena**, v. 137, p. 87–99, 2016a.

CRUSCIOL, C. A.C. et al. Surface Application of Lime–Silicate–Phosphogypsum Mixtures for Improving Tropical Soil Properties and Irrigated Common Bean Yield. **Soil Science Society of America Journal**. Madison/WI, v. 80, n. 4, p. 930–942. 2016b.

CRUSCIOL et al. Soil Fertility, Sugarcane Yield Affected by Limestone, Silicate, and Gypsum Application. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Londres-UK. v. 48, n. 19, p 2314-2323. 2017.

DALLA NORA, D. et al. Mitigation of the Gradient of Chemical Properties in the Rooting Zone of Dystrophic Oxisols by Gypsum and Lime Inputs under a No-Till System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 41, p. 1-22. 2017.

DIAS, L. E. **Uso do gesso agrícola como insumo**. MAPA/EMBRAPA. Itaguí. 1992.

DIAS, L. E. et al. Dinâmica de algumas formas de enxofre em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n. 3, p.373-380, 1994.

DICK, W. **Gypsum: Some Things Old and Some Things New**, 2013. Disponível em: <<http://www.gypsoil.com/media-library/documents/36.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2015.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009. 370p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2011**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. 255 p.

EMBRAPA SOJA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Girassol**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/girassol>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

FARINA, M. P. W.; P. CHANNON; G. R. THIBAUD. A Comparison of Strategies for Ameliorating Subsoil Acidity: II. Long-Term Soil Effects. **Soil Science Society of America Journal**, Madison/WI, v. 64, n. 2, p. 652-658. 2000.

FEBRAPDP. **O que é sistema plantio direto?**. Disponível em: <<https://febrapdp.org.br/sistema-plantio-direto-o-que-e>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 380 p.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Dinâmica da calagem superficial em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 235-247, 2005.

FIRMANO, R. F. **Efeito residual da adubação potássica nas formas do nutriente no solo**. 2017. 120 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2017.

FISHER, M. Amending soil with Gypsum. **American Society of Agronomy**. Nov. 2011.

FOLONI, J. S. S. et al. Resposta do feijoeiro e fertilidade do solo em função de altas doses de calcário em interação com a gessagem. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 4, n. 2, p. 27- 35. 2008.

FRANCHINI, J. C. et al. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 459-467, 2000.

FRANCHINI, J. C. et al. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Londres/UK, v. 34, n. 13-14. p. 2045-2058, 2007.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistema de manejo do solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 145-154, 1999.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; STECKLING, C. Características químicas de solo e rendimento de matéria seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 939-946, 2001.

IAPAR. **Instituto Agronômico do Paraná**. Cartas Climáticas do Estado do Paraná. Curitiba, 2000. Disponível em: <http://200.201.27.14/Site/Sma/Cartas_Climaticas/CartasClimaticas.htm>. Acesso em: 3 abr. 2015.

KAMINSKI, J. et al. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 573-580, 2005.

LEAL, A. J. F. et al. Adubação nitrogenada para milho com o uso de plantas de cobertura e modos de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 491-501, 2013.

LIMA, E. V. **Alterações dos atributos químicos do solo e resposta da soja à cobertura vegetal e à calagem superficial na implantação do sistema de semeadura direta**. Botucatu, 2001. 125p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

LOPES, A. S. et al. **Sistema Plantio Direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004. 115p.

LOUREIRO, F. E. V. L.; NASCIMENTO, M. **O gesso nos agrossistemas brasileiros: fontes e aplicações**. CETEM, 2009.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola adubos e adubação**. 3 ed. São Paulo: Ceres, 1981. 594 p.

MARQUES, R. R. **Aplicação superficial de calcário e gesso em manejo conservacionista de solo para cultivo de amendoim e aveia branca**. 2008. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2008.

MEDEIROS, J. C. et al. Relação Cálcio:Magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 799-806. 2008.

MELLO, J. C. A. et al. Alterações nos atributos químicos de um Latossolo distroférico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 27, n. 3, p. 553–561, 2003.

MEURER, E. J.; RHEINHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômenos de sorção em solos. In: MEURER, E. J., ed. **Fundamentos da química do solo**. Porto Alegre, EVANGRAF, 2006. p. 117-162.

MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo**. 4º ed. Porto Alegre: EVANGRAF, 2012. 275p.

MICHALOVICZ, L. et al. Soil fertility, nutrition and yield of maize and barley with gypsum application on soil surface in no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5 p. 1496-1505, 2014.

MICHALOVICZ, L. **Atributos químicos do solo e resposta da sucessão milho-cevada-feijão trigo influenciados por doses e parcelamento de gesso em plantio direto**. 2012. 41 p. Dissertação. Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava/PR. 2012.

MINATO, E. A. et al., Teores foliares de macronutrientes e produção de milho (*Zea mays* L.) após gessagem em um latossolo vermelho distrófico típico. **Scientia Agraria Paranaensis**. Marechal Cândido Rondon, v. 16, n. 2, p. 219-224, 2017.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C.; REIN T. A. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 6, p. 563-572, 2005.

NAHAS, S.; SEVERINO, J. **Calcário agrícola no Brasil série estudos e documentos**. Rio de Janeiro. CETEM. 2003.

NAKAO, A. H. et al. Rotação e sucessão de culturas como práticas de conservação do solo no município de Jales, SP. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 152-166, 2016.

NANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 145-154, 1999.

NAVA, G. Gesso e Nutrição com cálcio na macieira. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis-SC. v. 23, p. 79-86, 2010.

NAVA, G. et al. Soil Composition and Nutritional Status of Apple as Affected by Long-Term Application of Gypsum. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 215-222, 2012.

NEIS, L. et al. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 409-416, 2010.

NOGUEIRA, M. A. e MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 655-663, 2003.

NORA, D. D. et al. Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2014.

NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

NUERNBERG, N. J.; RECH, T. D.; BASSO, C. **Usos do gesso agrícola**. Boletim Técnico nº 122. EPAGRI, Florianópolis. 38 p. 2005.

OLMOS, J. I. L.; CAMARGO, M. N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil sua caracterização e distribuição. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 171-180, 1976.

PAULETTI, V. et al. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 495-505, 2014.

PAULETTI, V.; MOTA, A. C. V. (Coord). **Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná**. 1º ed. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482 p.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a brazilian oxisol. **Soil Science Society America Journal**, Madison/WI, v. 48, n. 1, p. 33-38, 1984.

PAVAN, M. A.; ROTH, C. H. Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of a Brazilian Oxisol. **Ciência e Cultura**, São Paulo. v. 44, n. 6, p. 391-394, 1992.

PAVAN, M. A.; OLIVEIRA, E. L. Corretivos da acidez do solo: experiências no Paraná. In: KAMINSKI, J. (Coord.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 61-76. (Boletim, 4).

QUAGGIO, J. A. et al. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 373-383. 1993

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

RAIJ, B. V. **Gesso Agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1988. 88 p.

- RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285p. (Boletim Técnico 100).
- RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2008. 233 p.
- RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. Extractable phosphorus availability indexes as affected by liming. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Londres/UK. v. 21, n. 13-16, p. 1267-1276, 2008
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.
- RAMPIM, L. et al. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1687-1698, 2011.
- RAMPIM, L.; LANA, M. C. Ion mobility and base saturation after gypsum application in continuous soybean-wheat cropping system under no-till. **Australian Journal of Crop Science**. Queensland, v. 9, n. 6, p. 468-476, 2015
- RAMOS, B. Z. et al. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um latossolo vermelho distrófico, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1018-1026, 2013.
- RCBPTT. Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. **Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2011**. Cascavel/PR: Coodetec, 2010. 170 p.
- RHEINHEIMER, D. S. et al. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 797-805, 2000.
- RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação Superficial de Calcário com diferentes teores de Magnésio e Granulometrias em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 6, p.1723-1736. 2015.
- ROSSATO, O. B. Soil fertility, ratoon sugarcane yield, and post-harvest residues as affected by surface application of lime and gypsum in southeastern brazil. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 33, n. 2, p. 276-287, 2017.

SANTOS, R. L. et al. Extração e eficiência de uso de nutrientes em capim-elefante na presença de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 497-505, 2012.

SERAFIM, M. E. et al. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em latossolo gibbsítico sob doses de gesso. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p. 75-81, 2012.

SOMAVILLA, L. et al. Response of soybean and corn to soil mechanical intervention and agricultural gypsum application to the soil surface. **Semina**. Londrina-PR, v. 37, n. 1, p. 95-102, 2016.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais mediante aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 81-90, 2007.

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

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 928-935, 2008b.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Nutrição e produtividade de grãos da aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 715-725, 2008c.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; MELLO, F. F. C. Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão em função de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 965-974, 2010.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H. BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 206-268.

SOUSA, D. M. G. et al. **Uso de gesso, calcário e adubos para pastagens no cerrado**. Planaltina: MAPA/EMBRAPA-Cerrados. 2001. 22p.

SUMNER, M. E.; FEY, M. V.; FARINA, M. P. W. Ameliorates of acid subsoil with posphogypsum. In: The second international Symposium of posphogypsum, Condensed papers. University of Miami: Florida, p. 41-45. 1986.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **O solo como sistema**. 1º Ed. Curitiba/PR. Edição dos autores, 2011. 104 p.

VIANA, J. S. et al. Integração soja e pastagem: Uma revisão de literatura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 5, p. 71-75, 2015.

VICENSI, M. et al. Do Rates and Splitting of Phosphogypsum Applications Influence the Soil and Annual Crops in a No-Tillage System?. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. Viçosa, v. 40, n. 1, p. 1-17, 2016.

VITTI, G. et al. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. 1º Ed. Piracicaba: GAPE, 2008. 104 p.

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

ZANDONÁ R. R. et al. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.