

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PPGA
MESTRADO**

**PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO E RESPOSTA DA SUCESSÃO
TRIGO-MILHO-TRIGO À CALAGEM E À APLICAÇÃO DE DOSES DE
GESSO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

LEANDRO MEERT

GUARAPUAVA-PR

2013

LEANDRO MEERT

**PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO E RESPOSTA DA SUCESSÃO
TRIGO-MILHO-TRIGO À CALAGEM E À APLICAÇÃO DE DOSES DE
GESSO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Mestrado, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Müller
Orientador

GUARAPUAVA-PR

2013

Catálogo na Publicação
Biblioteca Central da Unicentro, Campus Cedeteg

M495p Meert, Leandro
Propriedades químicas do solo e resposta da sucessão trigo-milho-trigo à calagem e à aplicação de doses de gesso em sistema plantio direto / Leandro Meert. -- Guarapuava, 2013
x, 41 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, 2014

Orientador: Marcelo Marques Lopes Müller

Banca examinadora: Antonio Carlos Vargas Motta, Jackson Kawakami

Bibliografia

1. Agronomia. 2. Calagem. 3. Gessagem. 4. Cálcio. 5. Magnésio. 6. Enxofre. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

CDD 631.58

Leandro Meert

**“PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO E RESPOSTA DA SUCESSÃO TRIGO-MILHO-
TRIGO À CALAGEM E APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO EM SISTEMA PLANTO
DIRETO”**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 29 de abril de 2013.



Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Müller
(UNICENTRO)



Prof. Dr. Antônio Carlos Vargas Motta
(UFPR)



Prof. Dr. Jackson Kawakami
(UNICENTRO)

GUARAPUAVA-PR

2013

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVO	3
3. CAPÍTULO I - PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO BRUNO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO APÓS APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO	4
3.1 Resumo:	5
3.3 Introdução	6
3.4 Material e Métodos	7
3.5 Resultados e Discussão	9
3.6 Conclusões	21
4. CAPÍTULO II - NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DA SUCESSÃO TRIGO- MILHO-TRIGO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO APÓS APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO.....	22
4.1 Resumo:	22
4.3 Introdução	24
4.4 Material e métodos	25
4.5 Resultados e Discussão	27
4.6 Conclusões	34
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química e granulometria do solo na área experimental no início do estudo (Guarapuava, 2013).	8
Tabela 2. Efeito da calagem superficial em sistema plantio direto nas características químicas do solo aos cinco meses após a aplicação do calcário (Guarapuava, 2013).	9
Tabela 3. Valores de pH em camadas de solo em função da calagem e aplicação de doses de gesso agrícola na superfície do solo em plantio direto (Guarapuava, 2013). ..	10
Tabela 4. Valores de acidez potencial ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), em diferentes profundidades, após calagem e aplicação superficial de doses de gesso em plantio direto (Guarapuava, 2013).. ..	13
Tabela 5. Teores de cálcio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), em diferentes profundidades, após calagem e aplicação superficial de doses de gesso em plantio direto (Guarapuava, 2013).. ..	13
Tabela 6. Teores de magnésio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), em diferentes profundidades, após calagem e aplicação superficial de doses de gesso em plantio direto (Guarapuava, 2013).. ..	15
Tabela 7. Teores de potássio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), em diferentes profundidades, após calagem e aplicação superficial de doses de gesso em plantio direto (Guarapuava, 2013).. ..	17
Tabela 8. Teores de enxofre (mg dm^{-3}), em diferentes profundidades, após calagem e aplicação superficial de doses de gesso em plantio direto (Guarapuava, 2013).. ..	18
Tabela 9. Teores de fósforo (mg dm^{-3}), em diferentes profundidades, após calagem e aplicação superficial de doses de gesso em plantio direto (Guarapuava, 2013). ..	20
Tabela 10. Teores foliares de macronutrientes e produtividade do trigo (2011) em função da calagem superficial em sistema plantio direto (Guarapuava, 2013). ..	28
Tabela 11. Teores foliares de macronutrientes (g kg^{-1}) nas culturas de milho (2011/2012) e trigo (2012) em função da calagem e aplicação de doses de gesso agrícola na superfície do solo sob plantio direto (Guarapuava, 2013).. ..	29

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Médias históricas (1976-2010) e observadas (jul/11 a dez/12) de precipitação pluvial e temperatura (T^a) em Guarapuava (PR). Valores nas barras indicam o desvio percentual entre as precipitações histórica e observada, durante o período experimental. 26
- Figura 2.** Produtividade da cultura do milho (2011/2012) em função em função da calagem e aplicação de doses de gesso agrícola na superfície do solo em plantio direto (Guarapuava, 2013). S/C = sem calcário; C/C = com calcário ($2,85 \text{ t ha}^{-1}$). 31
- Figura 3.** Produtividade da cultura do trigo (2012) em função em função da calagem e aplicação de doses de gesso agrícola na superfície do solo em plantio direto (Guarapuava, 2013). S/C = sem calcário; C/C = com calcário ($2,85 \text{ t ha}^{-1}$). 33

RESUMO

MEERT, L. Propriedades químicas do solo e resposta da sucessão trigo-milho-trigo sob plantio direto em função da calagem e da aplicação de doses de gesso

O efeito da calagem e da aplicação de gesso sobre atributos químicos de um Latossolo Bruno sob plantio direto, bem como a nutrição e a produtividade de cultivos de trigo e milho foram avaliados entre 2011 e 2013, em Guarapuava-PR. Os tratamentos foram constituídos da combinação de dois níveis de calagem, sem calcário e a dose correspondente à necessidade de calagem para alcançar saturação por bases (V) de 70 %, a quatro doses de gesso agrícola, sendo 0, 2, 4 e 8 ton ha⁻¹, adotando-se delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial (2x4), com quatro repetições. O solo foi amostrado na camada de 0-20 cm na primeira coleta aos 5 meses após a calagem e de 0-80 cm na segunda e terceira coleta 10 e 17 meses após a calagem, significando, respectivamente, cinco e 12 meses após a gessagem. Também foram avaliados os teores foliares de nutrientes e as produtividades das culturas, sendo os resultados submetidos às análises de variância e de regressão. Na primeira coleta houve efeito do calcário somente sobre o pH na camada de 0-10 cm. Na segunda amostragem de solo o efeito do calcário chegou a camada de 10-20 cm, houve também um pequeno efeito do gesso sobre os valores de P na segunda e terceira amostragem, os teores de Al³⁺ foram reduzidos na camada de 0-10 cm na primeira amostragem e na segunda também. A calagem não afetou a acidez potencial do solo (H+Al), nas camadas de 0-10 e 10-20 cm aos cinco meses, mas, aos 10 e 17 meses após aplicação do calcário, houve redução dos valores de H+Al, somente nessas camadas. Houve aumento no teor de Ca²⁺ na camada de 0-10 cm na primeira amostragem, na segunda amostragem de solo, houve aumento linear dos teores de Ca²⁺ no solo em função da gessagem, sem e com calagem. Na terceira amostragem, este efeito do calcário não ocorreu na camada de 0-10 cm, mas passou a existir na camada de 10-20 cm. Na primeira amostragem não se observou efeito do calcário sobre o de Mg²⁺. Na segunda e terceira amostragem houve aumento nos teores na camada de 0-10 cm com e sem calagem. Na terceira amostragem, o comportamento da gessagem na ausência de calcário foi igual, enquanto que na presença do calcário, além da queda dos teores de Mg²⁺ em 0-10 cm e aumento em 10-20 e 20-40 cm, o aumento atingiu a camada de 0,4-0,6 m. Houve redução no teor de K⁺ nas camadas de 0-10 e 10-20 cm na segunda e terceira amostragem, houve aumento no teor de S-SO₄²⁻ em todas as camadas amostradas na segunda e terceira amostragem. Não

houve efeito do calcário sobre a produtividade do trigo e os teores de macronutrientes na folha no ano de 2011. Para a cultura do milho houve aumento nos teores de N, P e S com a aplicação de calcário + gesso e redução de K^+ , para o Mg^{2+} houve aumento com a aplicação de gesso e calcário e redução somente com o gesso. A produtividade do milho foi aumentada linearmente pela aplicação de calcário e gesso, no entanto, quando se aplicou somente gesso a produção foi maior em comparação aquela encontrada quando se aplicou calcário + gesso. Para a cultura do trigo (2012) não se verificou efeito do calcário, gesso ou com a combinação dos dois sobre os valores de N, P e K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e S foram aumentados linearmente com a aplicação de calcário, gesso ou com a combinação dos dois. Houve aumento da produtividade somente com a aplicação de calcário + gesso.

Palavras – chave: Calagem, gessagem, cálcio, magnésio, enxofre.

ABSTRACT

The effects of lime and gypsum application on chemical attributes of an Oxisoil under no tillage system and also on wheat and corn nutrition and yield were evaluated during 2011-2013, in Guarapuava-PR. The experiment was conducted in a completely randomized blocks design, in a factorial scheme (2x4). The treatments comprehended two lime rates (no lime and the recommended rate to achieve a $V = 70\%$) and four gypsum rates (0, 2, 4, e 8 ton ha^{-1}) with four replicates. The soil sampling was performed after five months of lime application at 0-20 cm depth and at 0-80 cm depth after 10 and 17 months of lime application what means 5 and 12 months after gypsum application, respectively. The leaf nutrient content and crop yield were also evaluated. The results were submitted to variance and regression analysis. A lime effect occur on soil pH only in 0-10 cm layer on the first sampling. At second soil sampling the lime effect achieve the 10-20 cm layer. Gypsum rates also promoted a small effect on soil P levels at second and third samplings. The Al^{3+} levels decreased at 0-10 cm in the first two sampling with lime applications. Lime didn't affect soil potential acidity (H^+Al) in 0-10 and 10-20 cm layers at five months but at 10 and 17 months after lime application the H^+Al levels decrease on these layers. The Ca^{2+} levels increase at 0-10 cm layer in first sampling. The second sampling showed a linear increase of Ca^{2+} level as function to gypsum application with or without lime. In third sampling the lime effect didn't occur at 0-10 cm, but was observed at 10-20 cm depth. In the first sampling no effect of lime in soil Mg^{2+} levels occur but in second and third samplings an increase at 0-10 cm occur with or without lime. At third sampling, the behavior of gypsum rates in absence of lime was the same while in the presence of lime, beyond the decrease of soil Mg^{2+} levels at 0-10 cm layer and the increase in 10-20 e 20-40 cm, this increase achieve the 40-60 cm layer. There was a decrease in K^+ levels at 0-10 and 10-20 cm layers in second and third sampling and an increase on S-SO_4^{2-} levels in all layers sampled on second and third sampling. There was no effect of lime on wheat yield and on leaf macronutrients levels in 2011. To corn crop there was increase in leaf levels of N, P, Mg and S with lime + gypsum application and decrease in K. Isolated application of gypsum promoted a decrease in Mg leaf levels in corn. The corn yield increase linearly with application of lime + gypsum however when only gypsum was applied the yield was higher when compared with lime + gypsum application. For wheat (in 2012) no

effect of lime, gypsum or the combination of both occurs in leaf levels of N, P and K. Levels of Ca, Mg and S increased linearly with lime, gypsum or with application of both. Yield of wheat increase only with lime + gypsum application.

Key words: Liming, gypsum, calcium, magnesium, sulphur.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O desenvolvimento da mecanização e do sistema convencional de cultivo (SC), a partir da Europa e América do Norte, fez parte da modernização da agricultura e do aumento da produção agrícola mundial. Porém, ao ser adotado no hemisfério Sul, tal modelo agrícola teve impacto na sustentabilidade dos agroecossistemas, devido à erosão que, em pouco tempo, gerou degradação dos solos (DERPSCH; FRIEDRICH, 2009).

Concomitantemente a esse processo, já na década de 1940 eram realizados os primeiros esforços para criar sistemas com menor revolvimento do solo, culminando no sistema plantio direto (SPD) anos depois. Entre 1960 e 1970, o Brasil iniciou com o SPD e, atualmente, tem a segunda maior área cultivada sob SPD no mundo, sendo que o Estado do Paraná, pioneiro na implantação, detém um dos maiores índices de adoção no país, com área muito superior à área cultivada em SC, obtendo vantagens como o melhor controle da erosão e a recuperação dos teores de matéria orgânica (MO) do solo, fundamentais para a fertilidade em solos tropicais (FEBRAPDP, 2013).

Em SPD, o não revolvimento do solo e a cobertura da superfície com palha alteram vários atributos do solo, com destaque para o aumento do teor de carbono orgânico (C_{org}), sobretudo na camada de 0-10 cm, processo que aumenta a agregação (CASTRO FILHO et al., 1998), a atividade biológica (CAMPOS et al., 1995) e a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo (CIOTTA et al., 2003). A deposição de resíduos de culturas, adubos e corretivos na camada superficial do solo sob SPD, sem incorporação, acaba concentrando paulatinamente os nutrientes próximo da superfície, sobretudo o fósforo (P), cuja mobilidade no solo é pequena (BRIEDIS et al. 2012).

Em relação à calagem no SC, cuja incorporação de corretivos corrige a acidez do solo e eleva os teores das bases de forma homogênea na camada arável, até 20 cm de profundidade normalmente, no SPD tais efeitos são limitados em intensidade conforme aumenta a profundidade, devido à baixa solubilidade do calcário, principal corretivo agrícola, aliada à menor superfície de contato solo-corretivo, sem o revolvimento do solo. Segundo Caires et al. (2006), a calagem superficial cria uma frente de correção da acidez que se desloca em profundidade, com efeitos proporcionais à dose de corretivo e tempo após aplicação, sendo mais lenta a ação em camadas mais profundas do solo.

Resulta disso que, após anos de SPD, os primeiros centímetros a partir da superfície de solo possuem menor acidez e maior teor de nutrientes, enquanto em subsuperfície o solo é mais ácido e relativamente mais pobre em nutrientes,

representando ambiente menos favorável ao enraizamento e absorção de água e nutrientes pelas plantas, o que pode agravar efeitos negativos de períodos de má distribuição de chuvas sobre as culturas.

Considerando que a acidez excessiva prejudica o crescimento e desenvolvimento das plantas, e que essa anisotropia no perfil do solo sob SPD combinada a anormalidades climáticas podem representar riscos à produção, limitando o rendimento das culturas, a calagem em SPD tem sido constantemente estudada em diversos agroecossistemas do Brasil, com diferentes condições edafoclimáticas e de períodos de adoção do sistema, que na atualidade facilmente alcança 15-20 anos, ou mais, em diferentes regiões do país. Em paralelo, o uso de gesso agrícola, como melhorador do ambiente radicular, tem sido estudado há menos tempo em SPD, mas tem-se revelado uma alternativa interessante para o manejo da fertilidade do solo nesse sistema.

Considerando que o gesso agrícola, fonte de Ca^{2+} e enxofre (S-SO_4^{2-}) para o solo, é mais solúvel que o calcário e é capaz de diminuir a atividade do alumínio tóxico (Al^{3+}) ao longo do perfil, sendo considerado condicionador de solo, é natural que a gessagem tenha sido suscitada como técnica complementar à calagem, sobretudo em SPD. Subproduto da indústria do ácido fosfórico, o gesso possui como característica benéfica adicional os teores residuais de P, que em solos de baixa disponibilidade do nutriente ou quando da aplicação de doses elevadas de gesso, podem aumentar, inclusive, os teores de P do solo e sua absorção pelas culturas (RAIJ, 2008).

Segundo Caires et al. (2001), o gesso agrícola pode melhorar a fertilidade do solo em profundidade e a distribuição do sistema radicular no perfil, aumentando a resistência das culturas a períodos de menor disponibilidade hídrica. Portanto, a gessagem atua de forma complementar à calagem, podendo melhorar a estabilidade da produção frente a variações climáticas ao longo das safras agrícolas.

2. OBJETIVO

Com este estudo, o objetivo foi avaliar os efeitos da calagem e da aplicação de doses de gesso agrícola na superfície do solo, bem como a relação entre estas práticas, sobre as propriedades químicas do solo e a resposta da sucessão trigo-milho-trigo em sistema plantio direto.

3. CAPÍTULO I - PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO BRUNO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO

3.1 Resumo: O objetivo, com este trabalho, foi avaliar os efeitos de calagem e gessagem sobre propriedades químicas de um Latossolo Bruno sob SPD. O estudo foi realizado entre 2011 e 2013 em Guarapuava-PR, combinando dois níveis de calagem (S/C - sem calcário; e C/C - dose de calcário para alcançar $V = 70\%$) e quatro doses de gesso (0, 2, 4, e 8 ton ha⁻¹). O solo foi amostrado aos 5, 10 e 17 meses após a calagem, significando, nas duas últimas, 5 e 12 meses após a gessagem. Os resultados das análises químicas de solo foram submetidos às análises de variância e de regressão. Aos cinco meses da calagem, houve aumento do pH e do teor de Ca²⁺ e diminuição do teor de Al³⁺ na camada de 0-10 cm. Aos 10 e 17 meses, o aumento do pH em função da calagem se deu nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, com queda concomitante da acidez potencial (0-10 cm). Não houve efeito da gessagem sobre pH, Al³⁺ e acidez potencial. Houve interação calagem x gessagem para os teores de bases trocáveis e S-SO₄²⁻. A gessagem aumentou linearmente o teor de Ca²⁺ em quase todas as camadas de solo, à exceção da camada de 60-80 cm C/C na segunda amostragem, e da camada de 20-40 cm S/C na terceira amostragem. Na segunda amostragem a calagem resultou em mais Ca²⁺ na camada de 0-10 cm e, nas maiores doses de gesso, menos Ca²⁺ nas camadas mais profundas, retardando a mobilização do Ca²⁺. O aumento das doses de gesso, S/C e C/C, resultou em queda linear nos teores de Mg²⁺ na camada de 0-10 cm e aumento linear nas camadas de 10-20 cm (S/C) e 20-40 cm (C/C), chegando a 40-60 cm na terceira amostragem. Os teores de K⁺ diminuíram na camada de 0-10 cm e aumentaram na camada de 10-20 cm em função da gessagem, sendo que na segunda amostragem a mobilização de K⁺ da camada de 0-10 cm foi mais intensa C/C, resultando também em maior teor de K⁺ na camada de 20-40 cm C/C. A gessagem provocou aumento linear nos teores de S-SO₄²⁻ em todas as camadas do solo, S/C e C/C, sendo que a calagem diminuiu os teores de S-SO₄²⁻ nas camadas de 10-20, 20-40 e 40-60 cm na segunda amostragem, aumentando na camada de 10-20 cm na última amostragem. Não houve efeito do gesso nos teores de P do solo, mas a calagem gerou aumento de P na camada de 0-10 cm nas duas últimas amostragens, neste caso de pequena amplitude em termos de disponibilidade para as plantas.

Palavras – chave: Calagem, fosfogesso, cálcio, magnésio, enxofre.

CHEMICAL PROPERTIES OF AN OXISOL UNDER NO TILLAGE SYSTEM AFTER SURFACE APPLICATION OF LIME AND GYPSUM

3.2 Abstract: The aim of this study was to evaluate the effects of lime and gypsum on the chemical properties of an Oxisol under no tillage system (SPD). The experiment was performed between 2011 and 2013 in Guarapuava, Parana State, combining two levels of liming (S/C – no lime; and C/C lime rate to achieve $V = 70\%$) and four gypsum rates (0, 2, 4, e 8 ton ha^{-1}). The soil was sampled at 5, 10 and 17 months after liming, meaning, for the last two sampling dates, 5 and 12 months after gypsum a application. The results of soil chemical analysis were submitted to analysis of variance and regression. At 5 month after liming pH and Ca^{2+} levels were increased and Al^{3+} levels were decreased at the 0-10 cm layer. At 10 and 17 months, pH increase due to liming occurred at 0-10 and 10-20 cm layers, with concomitant decrease of soil potential acidity (H+Al) at 0-10 cm. Gypsum application had no effect on pH, Al^{3+} and H+Al. There was significant interaction between lime and gypsum application for exchangeable bases and $S-SO_4^{2-}$. Gypsum caused linear increase on Ca^{2+} levels in almost every soil layer, excepting for the 60-80 cm layer C/C at the second soil sampling, and at the 20-40 cm layer S/C at the third soil sampling. At the second sampling, liming resulted in more Ca^{2+} at the 0-10 cm layer and less Ca^{2+} at deeper layers for the higher gypsum rates, retarding Ca^{2+} mobilization. Increasing gypsum rates S/C and C/C resulted on linear decrease of Mg^{2+} at the 0-10 cm layer and linear increase on the 10-20 cm (S/C) and 20-40 cm (C/C) layers, reaching the 40-60 cm layer at the third sampling. The levels of K^+ decreased at 0-10 cm and increased at 10-20 cm due to gypsum, and this mobilization from 0-10 cm was more intense with lime combination, and lime resulted in higher K^+ levels at 20-40 cm. Gypsum also increased $S-SO_4^{2-}$ levels in every soil layer (S/C and C/C), while liming decreased $S-SO_4^{2-}$ levels at 10-20, 20-40 and 40-60 cm on the second sampling, and increased $S-SO_4^{2-}$ at 10-20 cm at the last sampling. There was no effect of gypsum on soil P levels, but liming caused increase on P levels at 0-10 cm layer on the second and third samplings, which was of little significance for plant availability.

Key words: Liming, phosphogypsum, calcium, magnesium, sulphur.

3.3 Introdução

Em áreas sob SPD, a correção da acidez do solo se dá a partir da superfície, pois com a incorporação se perderiam benefícios fundamentais do sistema (AMARAL; ANGHINONI, 2001), como a manutenção de resíduos cobrindo o solo, que possibilita maiores níveis de acúmulo de matéria orgânica e de agregação do solo (CIOTTA et al., 2003). Sem incorporação, por outro lado, a calagem, em termos de intensidade, passa a ter efeitos mais restritos às camadas mais superficiais do solo (SÁ, 1993), o que se justifica pela baixa solubilidade em água das espécies neutralizantes do calcário (ALCARDE, 2005), principal corretivo de acidez em uso no Brasil.

Não obstante a isso, a eficiência do calcário em corrigir a acidez do solo em subsuperfície em SPD é controversa. Há resultados demonstrando efeitos restritos, como os de Franchini et al. (2001), Kaminski et al. (2000) e Pottker (2000), o qual observou efeito do calcário limitado à profundidade de 5 cm, três anos após a aplicação do corretivo em superfície. Por outro lado, há trabalhos com resultados distintos, como os de Caires et al. (1999) e Oliveira e Pavan (1996), que verificaram efeito do calcário até a camada de 40 cm, sendo aos 18 meses e 36 meses após a aplicação do calcário na superfície, respectivamente. Estes autores citaram os resultados obtidos por Blevins et al. (1978) nos Estados Unidos, de aumento no teor de Ca^{2+} e na saturação por bases (V) e redução no teor de Al^{3+} em subsolo, após aplicação do calcário em superfície em SPD.

Portanto, em diferentes condições edafoclimáticas, tempos de adoção do SPD e/ou de manejo da lavoura, os efeitos da calagem sobre atributos químicos do solo em SPD podem ser distintos e, por consequência, estudos regionalizados sobre o assunto tornam-se importantes, já que a acidez do solo em subsuperfície constitui fator limitante ao aumento dos níveis de produtividade, sobretudo em áreas de SPD, por limitar o crescimento das raízes (HOLZSCHUH, 2007) que, nessa condição, podem restringir a absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, o potencial produtivo das lavouras.

Uma alternativa à calagem para melhorar as condições do solo, visando melhor crescimento radicular e aproveitamento dos nutrientes do solo e dos fertilizantes, é o uso de gesso agrícola, o qual aumenta os teores de Ca^{2+} e sulfato (SO_4^{2-}) e reduz a atividade tóxica do Al^{3+} (CAIRES et al., 1999). Tais efeitos ocorrem desde a superfície até o subsolo, o que se deve à solubilidade do sulfato de cálcio presente no gesso, que é cerca de 145 vezes mais solúvel que o carbonato de cálcio do calcário (LEITE, 2005).

Rampim (2008), após aplicação de gesso em Latossolo muito argiloso sob 15 anos de SPD, em Guaíra - Paraná, verificou aumento no teor de Ca^{2+} e redução no teor de Al^{3+} nas camadas de solo entre 0 e 60 cm. O autor também observou diminuição dos teores de Mg^{2+} , entre 0 e 60 cm, e de K^+ , nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, significando mobilização destes elementos para camadas mais profundas no perfil. Guardadas as particularidades de solo, clima e cultivo, estes resultados são muito similares aos de outros trabalhos com gesso em SPD, observando-se, também, aumento no teor de S-SO_4^{2-} no perfil solo e aumento de produtividade em função do gesso (Raij et al., 1998; Caires et al., 1999; 2003; 2004; Marques, 2008; Soratto e Crusciol, 2008).

Mesmo em solos com teores alto de Ca^{2+} e baixo de Al^{3+} , têm sido obtidos benefícios da aplicação de gesso. Maschietto (2009), estudando gessagem em Latossolo argiloso de alta fertilidade sob SPD, na região de Guarapuava – Paraná, observou aumento do teor de P (0-10 cm) e dos teores de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} (0-60 cm) do solo, obtendo produtividade máxima próxima de 11,5 ton ha^{-1} de milho com dose estimada de 7,8 t ha^{-1} de gesso, rendimento 11 % superior ao do tratamento sem uso de gesso. Entretanto, segundo Caires et al. (2011), mesmo após anos de estudos sobre gessagem no Brasil, ainda restam dúvidas quanto ao método de recomendação e em que condições pode-se esperar alterações químicas do solo que promovam benefícios às culturas após sua aplicação, combinada ou não à de calcário, em solos sob SPD.

Portanto, apesar do grande potencial de melhoria dos atributos químicos do solo em subsuperfície pelo uso do gesso, sua indicação não substitui a prática da calagem (SILVA et al., 1998), a qual pode ter efeito em superfície e em subsuperfície em solo sob SPD, sendo a resposta das culturas a esta prática variável em função da tolerância ao alumínio dos genótipos presentes na rotação de culturas, bem como do regime hídrico durante o crescimento e desenvolvimento das plantas (CAIRES et al., 2011).

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar alterações das propriedades químicas do solo em função da aplicação superficial de calcário e de doses de gesso agrícola em área sob SPD no Centro-Sul do Paraná.

3.4 Material e Métodos

O estudo foi implantado na estação experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) em Guarapuava-PR, região com altitude entre 800-1.200 m e clima Cfb (Köppen), com temperaturas médias inferiores a 22 e 18 °C nos meses mais quente

e mais frio do ano, respectivamente, sem estação seca definida e com geadas severas (IAPAR, 2000). O local se situa na unidade de mapeamento LBd5 - Latossolos Brunos Distróficos, conforme o mapa de solos do Paraná (BHERING, SANTOS, 2008). A área experimental tem mais de 15 anos de SPD e, nos 10 anos antes ao estudo, foi cultivada com aveia no inverno e soja ou milho no verão, adotando-se as recomendações técnicas para implantação e manejo das culturas (EMBRAPA, 1998; 2000; 2009). Em maio de 2011, o solo foi amostrado para caracterização química e granulométrica (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do solo na área experimental, antes da implantação dos tratamentos em 2011 (Guarapuava, 2013).

Prof.	MO ⁽¹⁾	P ⁽²⁾	pH	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	V	Areia	Silte	Argila
cm	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	CaCl ₂	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	%	-----	g kg ⁻¹	-----
0-10	53,6	1,34	5,13	0,05	7,29	5,19	3,39	0,56	55	45	234	721
10-20	53,6	0,30	4,90	0,05	7,46	3,85	2,72	0,49	49	47	220	733

⁽¹⁾Matéria orgânica, ⁽²⁾P extraído por Mehlich 1.

Adotou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, parcelas de 7 x 5 m e quatro repetições, com tratamentos em esquema fatorial 2 x 4. O primeiro fator foi composto de dois níveis de calagem: S/C = 0,0 t ha⁻¹ de calcário; e C/C = 2,85 t ha⁻¹ de calcário, dose estimada para elevar a saturação por bases (V) a 70% na camada de 0-20 cm. O segundo fator foi composto de quatro doses de gesso agrícola: 0, 2, 4 e 8 t ha⁻¹. Aplicou-se calcário dolomítico (95% de PRNT; 24% de CaO e 14% de MgO) em julho de 2011 e as doses de gesso agrícola (17% de Ca; 14% de S-SO₄²⁻) em dezembro de 2011, na implantação do trigo e do milho, respectivamente, primeiro e segundo cultivos na rotação estudada, cujos dados de produção e nutrição serão abordados no capítulo II.

O início das amostragens de solo se deu após a colheita do trigo, aos cinco meses após a calagem, coletando-se solo das camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, suficiente para monitorar alterações químicas do solo por efeito da calagem, considerando o período relativamente curto entre a aplicação do corretivo e esta primeira coleta e resultados anteriores de estudos sobre calagem superficial em SPD (CAIRES et al., 1999; 2004; FIDALSKI; TORMENA, 2005). Foram feitas outras duas amostragens, aos 10 e 17 meses após a calagem, respectivamente aos 5 e 12 meses após a gessagem, com a seguinte estratificação: 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm.

Para as coletas de 0-10 e 10-20 cm, utilizou-se trado holandês com caçamba de 10 cm, alterando-se a caçamba para 20 cm nas demais camadas, em 12 pontos por

parcela nas linhas (9 pontos) e entrelinhas (3 pontos) de cultivo. As análises químicas seguiram metodologia descrita por Pavan et al. (1992). No caso do S, adotou-se extração por fosfato de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, conforme Cantarella e Prochnow (2001).

Os resultados da primeira amostragem de solo, sob efeito apenas dos níveis de calagem, foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade de erro. A partir da segunda amostragem, os dados foram submetidos às análises de variância e regressão. Não havendo interação significativa ($p < 0,05$) entre os fatores calagem e gessagem, os efeitos da calagem foram comparados pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) e procedeu-se à análise de regressão para as doses de gesso, neste caso com as médias dos níveis de calagem em cada dose de gesso, e adotando-se os modelos com o maior nível de significância estatística.

3.5 Resultados e Discussão

Na primeira amostragem, houve aumento no pH do solo em função da calagem na camada de 0-10 cm (Tabela 2), concordando com Caires et al. (1998; 1999) que, após 12 e 18 meses da calagem respectivamente, observaram aumento no pH apenas na camada de 0-10 cm. Com cinco meses de reação no presente caso, o efeito no pH do solo limitado à camada de 0-10 cm se deve à baixa solubilidade em água das espécies neutralizantes do calcário (ALCARDE, 2005), tornando lenta a reação em SPD com a pequena superfície de contato entre calcário e solo sem a incorporação, justificando alterações restritas à camada superficial do solo (SÁ, 1993), ao menos em curto prazo.

Tabela 2. Efeito da calagem superficial em sistema plantio direto nas características químicas do solo aos cinco meses após a calagem (Guarapuava, 2013).

Prof.	Trat.	pH	P ⁽¹⁾	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
cm		CaCl ₂	mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
0-10	S/C ⁽²⁾	5,12 b ⁽³⁾	1,49 a	0,06 a	7,58 a	4,90 b	3,14 a	0,46 a
	C/C	5,70 a	1,43 a	0,01 b	6,68 a	5,32 a	3,28 a	0,47 a
10-20	S/C	4,87 a	0,31 a	0,07 a	7,65 a	3,74 a	2,54 a	0,38 a
	C/C	4,90 a	0,33 a	0,03 a	7,04 a	4,19 a	2,89 a	0,40 a

⁽¹⁾ P extraído por Mehlich 1; ⁽²⁾ S/C = sem calcário (testemunha); C/C = com calcário (2,85 t ha⁻¹). ⁽³⁾ Letras iguais na mesma coluna, por profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Na segunda e terceira amostragens (10 e 17 meses após a calagem), entretanto, a calagem teve seu efeito sobre o pH do solo estendido à camada de 10-20 cm (Tabela 3), aprofundando-se, portanto, em relação à primeira amostragem, provavelmente devido ao maior tempo transcorrido, permitindo maior reação do corretivo com o solo.

Tabela 3. Valores de pH (CaCl₂) do solo, em diferentes profundidades, após calagem e aplicação superficial de doses de gesso em plantio direto (Guarapuava, 2013).

Prof. (cm)	Gesso (t ha ⁻¹)	10 meses após calagem e 5 meses após gessagem		17 meses após calagem e 12 meses após gessagem	
		S/C ⁽¹⁾	C/C	S/C	C/C
0-10	0	5,13	5,53	5,03	5,47
	2	4,46	5,38	4,73	5,37
	4	4,53	5,30	4,50	5,11
	8	4,70	5,23	4,74	5,32
	Média	4,70 b ⁽²⁾	5,36 a	4,70 b	5,32 a
	CV %		6,00		5,19
	Regressão/R ²		ns		ns
10-20	0	4,75	5,06	4,67	5,37
	2	4,78	5,14	4,72	5,07
	4	4,78	5,21	4,75	5,02
	8	4,91	5,19	4,82	5,08
	CV %		3,52		2,35
	Média	4,81 b	5,13 a	4,88 b	5,20 a
	Regressão/R ²		ns		ns
20-40	0	4,70	4,60	4,76	4,76
	2	4,70	4,60	4,73	4,75
	4	4,50	4,70	4,75	4,76
	8	4,60	4,70	4,73	4,74
	Média	4,63 a	4,65 a	4,74 a	4,75 a
	CV %		3,33		2,75
	Regressão/R ²		ns		ns
40-60	0	4,50	4,65	4,81	4,68
	2	4,67	4,65	4,86	4,69
	4	4,60	4,56	4,57	4,61
	8	4,50	4,60	4,87	4,67
	Média	4,57 a	4,62 a	4,78 a	4,66 a
	CV %		5,19		5,27
	Regressão/R ²		ns		ns
60-80	0	4,67	4,66	4,74	4,75
	2	4,65	4,67	4,73	4,72
	4	4,67	4,67	4,71	4,70
	8	4,65	4,65	4,74	4,70
	Média	4,66 a	4,66 a	4,73 a	4,72 a
	CV %		4,09		4,59
	Regressão/R ²		ns		ns

⁽¹⁾ S/C = sem calcário (testemunha); C/C = com calcário (2,85 t ha⁻¹). ⁽²⁾ Letras iguais na mesma linha dentro de cada época não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

O efeito da calagem não foi tão restrito como no estudo de Pottker (2000), que obteve efeito limitado a 5 cm de profundidade três anos após a calagem, e embora o efeito não tenha atingido 40 cm de profundidade, como nos estudos de Caires et al. (1999) e Oliveira e Pavan (1996), aos 18 e 36 meses da calagem, respectivamente, o aumento de pH até 20 cm a partir dos 10 meses mostra que, na condição edafoclimática de Guarapuava, a calagem superficial pode corrigir a acidez em subsuperfície em SPD.

Segundo Bortolini et al. (2009), em SPD os efeitos da calagem em subsuperfície podem ser facilitados por bioporos do solo, canais feitos por minhocas e raízes - fartos em SPD, fazendo com que o resultado da calagem, em parte, independa da dissolução do corretivo na superfície do solo, pois partículas do calcário migram por estes poros para a subsuperfície e, em condições químicas distintas das do solo superficial, reagem.

Não obstante, com $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 5,13$ na camada de 0-10 cm no início do estudo (Tabela 1), o que seria equivalente a $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} \cong 5,7$ segundo Almeida e Ernani (1996), os efeitos relativamente rápidos do calcário até 20 cm de profundidade se justificam pela reação do solo. Segundo Rheinheimer et al. (2000), os efeitos em profundidade da calagem em SPD ocorrem após a reação do solo na zona de dissolução do calcário atingir $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 5,2-5,5$, pois em pH mais ácido os ânions que corrigem a acidez (OH^- e HCO_3^-) são consumidos com cátions de reação ácida da solução do solo (H^+ , Al^{3+} , Fe^{2+} e Mn^{2+}). Portanto, no início do estudo havia condição para dissolução e migração da frente alcalinizante a partir da superfície do solo, afetando o pH na camada de 0-10 cm aos 5 meses da calagem (Tabela 2), e aos 10 meses essa condição já havia passado para a camada de 10-20 cm (Tabela 3). No entanto, decorridos mais sete meses até a terceira amostragem, esse efeito não se estendeu para nenhuma outra camada em profundidade.

Outro fator que pode ter favorecido o efeito do calcário até a camada de 10-20 cm em tempo relativamente curto (10 meses), é o fato de que no inverno, por vários anos, o solo vinha sendo cultivado com aveia preta, cujos resíduos formam complexos orgânicos que auxiliam na mobilização do calcário em profundidade (MIYAZAWA, 2000). Ainda cabe destacar que, após a aplicação do calcário, houve precipitação acima da média regional (Figura 1, cap. II), cerca de 600 mm em dois meses, ajudando a migração da frente alcalinizante para camadas mais profundas em menor tempo.

A partir da segunda coleta de solo, o gesso já estava presente, no entanto não houve efeito significativo das doses de gesso ou interação com a calagem sobre o pH do solo (Tabela 3), em acordo com os dados de Ciotta et al. (2004) e Alleoni et al. (2005). Embora estudos anteriores tenham observado aumentos de pH do solo em subsuperfície pela gessagem (CAIRES et al., 1999; MICHALOVICZ, 2012), o gesso é um sal neutro, não se esperando correção da acidez do solo (CAIRES et al., 2004; RAIJ, 2008).

Não foram observados teores significantes de Al^{3+} no solo inicialmente (Tabela 1), sendo detectados teores muito baixos (bureta digital nas análises) na primeira amostragem após a calagem, quando se observou menor teor de Al^{3+} na camada de 0-10 cm pela calagem (Tabela 2). Tais resultados estão em acordo com os de pH do solo, uma vez que em $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} \geq 5,5$, equivalendo a $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} \geq 4,9$ (ALMEIDA, ERNANI,

1996), o teor de Al^{3+} se aproxima de zero. Na segunda e terceira amostragens, após a gessagem, os teores voltaram a níveis muito próximos de zero, não havendo efeitos da calagem e da gessagem. Outro fator ligado aos baixos teores de Al^{3+} no solo é que em SPD pode ocorrer que, apesar do pH ser baixo, o Al^{3+} também seja, paradoxalmente, baixo, devido à complexação do Al^{3+} na superfície dos colóides do solo (complexo de esfera interna), com ácidos orgânicos estáveis (ANGHINONI, SALET, 2007).

A calagem não afetou significativamente os valores de H+Al aos cinco meses (Tabela 4), mas após 10 e 17 meses da calagem, os valores diminuíram na camada de 0-10 cm (Tabela 4), em acordo com o aumento do pH (Tabelas 2 e 3). Não houve efeito do gesso ou interação com a calagem sobre H+Al, em acordo com o fato do gesso não possuir propriedades corretivas de acidez (RAIJ, 2008). Estudando calagem e gessagem em superfície em SPD, Sorato e Crusciol (2008) também observaram efeito da calagem sobre H+Al até uma profundidade menor (10 cm aos 12 meses da calagem) em relação aos efeitos sobre o pH do solo, que no presente estudo foi até a camada de 10-20 cm.

O teor de Ca^{2+} aumentou no solo com a calagem, sendo o efeito significativo na camada de 0-10 cm na primeira amostragem (Tabela 2). Na demais, houve interação entre calagem e gessagem (Tabela 5). Na segunda amostragem, as doses de gesso aumentaram linearmente os teores de Ca^{2+} em todas as camadas na ausência da calagem. Com a calagem, o aumento dos teores de Ca^{2+} ocorreu até a camada de 40-60 cm. Somando-se a isso o fato de que os teores de Ca^{2+} foram maiores em função da calagem na dose de 4 t ha^{-1} de gesso na camada de 0-10 cm, e menores em profundidade em função da calagem nas doses de 4 (60-80 cm) e 8 t ha^{-1} de gesso (10-20, 20-40 e 60-80 cm), vê-se que a calagem resultou em mais Ca^{2+} na camada de 0-10 cm e, nas maiores doses de gesso, menos Ca^{2+} nas camadas mais profundas, retardando a mobilização do Ca^{2+} em profundidade, talvez pelo aumento da CTC efetiva do solo (diminuição de H+Al) nas camadas mais superficiais, significativamente na de 0-10 cm.

Na terceira amostragem, esse efeito do calcário aumentando o teor de Ca^{2+} na camada de 0-10 cm se deu somente na maior dose de gesso, mas passou a ocorrer também na camada de 10-20 cm, sem interação com o gesso. Na camada de 40-60, a dose de 8 t ha^{-1} de gesso combinada com calcário resultou em maior teor de Ca^{2+} . Quanto à gessagem, à exceção da camada de 20-40 cm sem calagem, o efeito foi de aumento linear dos teores de Ca^{2+} no solo. Portanto, após maior período de reação do calcário e do gesso com o solo, seus efeitos se aprofundaram no perfil.

Tabela 4. Valores de acidez potencial ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), em diferentes profundidades, após calagem e aplicação superficial de doses de gesso em plantio direto (Guarapuava, 2013).

Prof. (cm)	Gesso (t ha^{-1})	10 meses após calagem e cinco meses após gessagem		17 meses após calagem e 12 meses após gessagem	
		S/C ⁽¹⁾	C/C	S/C	C/C
0-10	0	8,09	7,58	8,21	7,51
	2	8,25	7,30	8,26	6,89
	4	8,31	7,36	8,74	6,60
	8	7,92	7,10	7,72	6,92
	Média	8,14 b ⁽²⁾	7,34 a	8,23 b	6,98 a
	CV %		6,45		6,25
	Regressão/R ²		ns		ns
10-20	0	7,33	7,48	7,39	7,27
	2	7,40	7,30	7,39	7,38
	4	7,55	7,30	7,19	7,11
	8	7,60	7,40	7,34	7,25
	Média	7,47	7,37	7,33	7,25
	CV %		9,72		7,31
	Regressão/R ²		ns		ns
20-40	0	7,90	7,70	7,70	7,27
	2	7,90	7,70	7,51	7,25
	4	7,60	7,80	7,60	7,00
	8	7,60	7,80	7,43	7,00
	Média	7,75 a	7,75 a	7,56 a	7,13 a
	CV %		9,84		7,41
	Regressão/R ²		ns		ns
40-60	0	6,94	7,25	7,12	7,25
	2	6,92	7,20	7,15	7,30
	4	7,34	7,00	7,12	7,30
	8	6,42	6,90	7,15	7,35
	Média	6,91 a	7,09 a	7,14 a	7,30 a
	CV %		6,37		7,27
	Regressão/R ²		ns		ns
60-80	0	7,28	7,21	7,12	7,40
	2	7,30	7,28	7,60	7,42
	4	7,25	7,25	7,00	7,14
	8	7,29	7,25	7,60	7,00
	Média	7,28 a	7,25 a	7,33 a	7,24 a
	CV %		11,57		8,29
	Regressão/R ²		ns		ns

⁽¹⁾ S/C = sem calcário (testemunha); C/C = com calcário ($2,85 \text{ t ha}^{-1}$). ⁽²⁾ Letras iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Resultados semelhantes foram encontrados por Costa (2011), que observou aumento linear nos teores de Ca^{2+} do solo pela aplicação de gesso, sendo os aumentos superiores quando houve combinação de gesso e calcário. O mesmo foi observado por Caires et al. (1998; 1999). O gesso agrícola possui cerca de 17% de Ca em sua composição (RAIJ, 2008), justificando os acréscimos nos teores de Ca^{2+} no solo, sendo

este um importante efeito na melhoria da fertilidade no solo em subsuperfície, com reflexos positivos no enraizamento das culturas (SOUZA; RITCHEY, 1986).

Tabela 5. Teores de cálcio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), em diferentes profundidades, após calagem e aplicação superficial de doses de gesso em plantio direto (Guarapuava, 2013).

Prof. (cm)	Gesso (t ha^{-1})	10 meses após calagem e 5 meses após gessagem		17 meses após calagem e 12 meses após gessagem	
		S/C ⁽¹⁾	C/C	S/C	C/C
0-10	0	6,05 a	6,41 a	6,37 a	6,07 a
	2	7,29 a	7,28 a	8,22 a	7,17 a
	4	7,78 b	9,12 a	9,02 a	9,31 b
	8	9,73 a	9,76 a	10,32 b	11,44 a
	Média	7,71 b ⁽²⁾	8,14 a	8,73 a	8,50 a
	CV %		8,45		9,26
	Regressão/R ²	L**/0,98	L**/0,89	L**/0,80	L**/0,98
10-20	0	3,26 a	3,96 a	3,76	5,10
	2	4,56 a	4,69 a	5,55	6,04
	4	5,58 a	6,00 a	6,49	7,23
	8	7,36 a	6,50 b	7,71	7,92
	Média	5,19 a	5,29 a	5,88 b	6,57 a
	CV %		12,79		9,59
	Regressão/R ²	L**/0,99	L**/0,89	L**/0,92	L**/0,92
20-40	0	2,44 a	2,54 a	3,73 a	3,77 a
	2	3,26 a	3,50 a	3,23 a	3,89 a
	4	4,20 a	4,20 a	4,04 a	4,22 a
	8	5,75 a	4,90 b	4,46 a	4,92 a
	Média	3,91 a	3,79 a	3,87 a	4,20 a
	CV %		18,97		15,91
	Regressão/R ²	L**/0,99	L**/0,93	ns	L*/0,90
40-60	0	2,72 a	2,60 a	2,92 a	3,04 a
	2	3,68 a	3,63 a	3,96 a	4,23 a
	4	4,48 a	4,40 a	4,35 a	4,40 a
	8	5,00 a	5,10 a	4,64 b	5,57 a
	Média	3,97 a	3,91 a	3,97 a	4,31 a
	CV %		21,89		13,32
	Regressão/R ²	L**/0,90	L**/0,92	L**/0,80	L**/0,93
60-80	0	2,09 a	2,27 a	2,56 a	2,80 a
	2	3,00 a	2,52 a	3,00 a	2,90 a
	4	3,41 a	2,72 b	3,30 a	3,40 a
	8	3,48 a	2,84 b	3,73 a	3,80 a
	Média	2,99 a	2,58 a	3,15 a	3,23 a
	CV %		18,26		13,78
	Regressão/R ²	L*/0,70	ns	L**/0,96	L*/0,95

⁽¹⁾ S/C = sem calcário (testemunha); C/C = com calcário ($2,85 \text{ t ha}^{-1}$). ⁽²⁾ Letras iguais na mesma linha dentro de cada época não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Não houve efeito significativo da calagem sobre os teores de Mg^{2+} do solo na primeira amostragem (Tabela 2). A partir da segunda amostragem (Tabela 6), a

interação entre calagem e gesso foi significativa, sendo que na segunda amostragem o aumento das doses de gesso, S/C e C/C, resultou em queda linear nos teores de Mg^{2+} na camada de 0-10 cm e aumento linear na camada de 10-20 cm. Entretanto, com calagem o aumento também ocorreu na camada de 20-40 cm, evidenciando maior mobilização de Mg^{2+} em profundidade na presença do calcário.

Tabela 6. Teores de magnésio ($cmol_c dm^{-3}$), em diferentes profundidades, após calagem e aplicação superficial de doses de gesso em plantio direto (Guarapuava, 2013).

Prof. (cm)	Gesso (t ha ⁻¹)	10 meses após calagem e 5 meses após gessagem		17 meses após calagem e 12 meses após gessagem	
		S/C ⁽¹⁾	C/C	S/C	C/C
0-10	0	3,09 b	3,70 a	4,28 a	4,12 a
	2	3,06 b	3,70 a	3,02 b	3,94 a
	4	3,02 a	3,70 a	2,30 a	2,64 a
	8	2,89 a	2,38 a	1,96 b	2,25 a
	Média	3,02 a	3,37 a ⁽²⁾	2,89 a	3,24 a
	CV %		17,64		19,06
	Regressão/R ²	L*/0,97	L*/0,77	L**/0,82	L**/0,86
10-20	0	2,94 a	2,95 a	3,02 a	3,81 a
	2	3,95 a	3,67 a	3,62 b	4,07 a
	4	4,00 a	4,00 a	4,29 a	4,10 a
	8	4,50 b	5,00 a	4,31 b	5,06 a
	Média	3,85 a	3,91 a	3,81 b	4,26 a
	CV %		18,41		14,43
	Regressão/R ²	L*/0,81	L**/0,98	L**/0,76	L*/0,96
20-40	0	3,02 a	2,33 a	3,41 a	2,32 a
	2	3,49 a	3,94 a	3,85 a	4,10 a
	4	3,67 b	4,50 a	3,64 b	4,40 a
	8	4,00 b	4,90 a	3,30 b	4,55 a
	Média	3,55 a	3,92 a	3,55 a	3,84 a
	CV %		20,04		14,59
	Regressão/R ²	ns	L*/0,78	ns	L**/0,95
40-60	0	2,70	2,70	3,18 a	2,34 b
	2	2,60	2,60	3,45 a	2,76 a
	4	2,80	2,70	3,16 b	4,09 a
	8	2,80	2,70	3,55 b	4,20 a
	Média	2,73 a	2,68 a	3,34 a	3,35 a
	CV %		23,25		14,74
	Regressão/R ²	ns		ns	L**/0,90
60-80	0	2,37	2,50	2,76	2,73
	2	2,77	2,43	3,00	3,00
	4	2,42	2,80	2,76	3,00
	8	2,60	2,74	3,00	3,00
	Média	2,54 a	2,62 a	2,88 a	2,93 a
	CV %		24,88		19,28
	Regressão/R ²	ns		ns	

⁽¹⁾ S/C = sem calcário (testemunha); C/C = com calcário (2,85 t ha⁻¹). ⁽²⁾ Letras iguais na mesma linha dentro de cada época não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Na terceira amostragem, o comportamento da gessagem na ausência de calcário foi igual, enquanto que na presença do calcário, além da queda dos teores de Mg^{2+} em 0-10 cm e aumento em 10-20 e 20-40 cm, houve aumento também na camada de 40-60 cm, indicando maior dissolução e liberação de Mg^{2+} pelo calcário, que possuía 14% de MgO, e demonstrando maior mobilização do nutriente em profundidade pelo gesso quanto maior a disponibilidade de Mg^{2+} a partir a superfície do solo.

Segundo Costa (2011) uma das características do uso do gesso é a mobilização ou lixiviação das bases, principalmente Mg^{2+} e K^+ , para as camadas mais profundas do solo, sendo essa movimentação decorrente da associação desses cátions com o ânion SO_4^{-2} , que resulta da dissociação do $CaSO_4^0$, formando compostos solúveis com carga neutra ou de menor valência. Em seu estudo, o autor verificou mobilização de Mg^{2+} até a camada de 40-60 cm com a combinação calcário + gesso. Caires et al. (1998) também verificaram essa mobilização de Mg^{2+} em função da aplicação do gesso.

Quanto aos teores de K^+ no solo, na primeira amostragem não se observou efeito da calagem (Tabela 2), mas houve interação entre calagem e gessagem nas outras amostragens (Tabela 7). Os teores de K^+ diminuíram linearmente com a gessagem na camada de 0-10 cm na segunda amostragem, com maior intensidade na presença da calagem. Na camada de 10-20 cm, houve aumento dos teores de K^+ , mas com intensidade similar S/C e C/C. Nas camadas de 20-40, 40-60 e 60-80 cm, não houve efeito da calagem nem da gessagem, à exceção da camada de 20-40 cm na segunda amostragem, em que os teores de K^+ foram significativamente maiores em função da calagem, devido à maior mobilização a partir da camada de 0-10 cm.

O K^+ se movimenta após a gessagem associado ao SO_4^{-2} (COSTA, 2011), mas bem menos que o Mg^{2+} (SORATTO, 2005; MARQUES, 2008). Quanto à calagem, segundo Ernani et al. (2004), se o Ca^{2+} e o Mg^{2+} do calcário aplicado ao solo descem a profundidades maiores do que aquelas onde ocorreu a elevação do pH, parte do Ca^{2+} e do Mg^{2+} deslocam K^+ da CTC dessa região para a solução do solo, facilitando a mobilização. Neste estudo, na segunda amostragem a calagem resultou em aumento de pH do solo somente nas camadas de 0-10 e 10-20 cm e, mesmo sem efeito significativo da calagem sobre o Mg^{2+} , o teor na camada de 20-40 cm foi 10% maior C/C do que S/C na média das doses de gesso.

Tabela 7. Teores de potássio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), em diferentes profundidades, após calagem e aplicação superficial de doses de gesso em plantio direto (Guarapuava, 2013).

Prof. (cm)	Gesso (t ha^{-1})	10 meses após calagem e 5 meses após gessagem		17 meses após calagem e 12 meses após gessagem	
		S/C ⁽¹⁾	C/C	S/C	C/C
0-10	0	0,51 a	0,55 a	0,56 a	0,56 a
	2	0,44 a	0,53 a	0,53 a	0,50 a
	4	0,48 a	0,43 a	0,50 a	0,46 b
	8	0,43 a	0,34 a	0,46 a	0,49 a
	Média	0,49 a ⁽²⁾	0,47 a	0,51a	0,50a
	CV %		25,66		10,10
	Regressão/R ²	L*/0,94	L**/0,96	L**/0,98	L**/0,88
10-20	0	0,33 a	0,33 a	0,39 a	0,41 a
	2	0,35 a	0,35 a	0,41 a	0,43 a
	4	0,35 b	0,40 a	0,42 a	0,43 a
	8	0,45 a	0,41 b	0,40 b	0,45 a
	Média	0,37 a	0,37 a	0,42 a	0,43 a
	CV %		14,53		12,90
	Regressão/R ²	L*/0,85	L*/0,87	L*/0,80	L*/0,91
20-40	0	0,23 b	0,38 a	0,33	0,27
	2	0,23 b	0,30 a	0,23	0,22
	4	0,20 b	0,33 a	0,25	0,29
	8	0,30 a	0,31 a	0,25	0,29
	Média	0,24 b	0,33 a	0,27 a	0,27 a
	CV %		30,67		24,24
	Regressão/R ²	ns		ns	
40-60	0	0,17	0,15	0,17	0,17
	2	0,18	0,15	0,19	0,19
	4	0,17	0,17	0,22	0,22
	8	0,19	0,16	0,19	0,23
	Média	0,18 a	0,16 a	0,19 a	0,20 a
	CV %		32,65		25,24
	Regressão/R ²	ns		ns	
60-80	0	0,15	0,16	0,20	0,20
	2	0,15	0,15	0,21	0,19
	4	0,15	0,14	0,23	0,22
	8	0,16	0,16	0,20	0,20
	Média	0,15 a	0,15 a	0,21 a	0,20 a
	CV %		54,56		37,90
	Regressão/R ²	ns		ns	

⁽¹⁾ S/C = sem calcário (testemunha); C/C = com calcário ($2,85 \text{ t ha}^{-1}$). ⁽²⁾ Letras iguais na mesma linha dentro de cada época não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Houve interação entre calagem e gessagem para os teores de S-SO_4^{2-} do solo após 5 e 12 meses da gessagem, na segunda e terceira amostragens, respectivamente (Tabela 8). A gessagem provocou aumento linear nos teores de S-SO_4^{2-} em todas as camadas do solo, em ambas as amostragens. Resultados semelhantes foram encontrados por Caires et al. (1998; 1999; 2003; 2004), Rampim (2008) e Costa (2011). Esses

resultados se devem ao fato do gesso agrícola possuir cerca de 17% de $S-SO_4^{2-}$, que se distribui facilmente em profundidade no perfil do solo pela baixa retenção nas cargas do solo (SOUSA, RITCHEY, 1986).

Tabela 8. Teores de enxofre ($mg\ dm^{-3}$), em diferentes profundidades, após calagem e aplicação superficial de doses de gesso em plantio direto (Guarapuava, 2013).

Prof. (cm)	Gesso ($t\ ha^{-1}$)	10 meses após calagem e 5 meses após gessagem		17 meses após calagem e 12 meses após gessagem	
		S/C ⁽¹⁾	C/C	S/C	C/C
0-10	0	11,46 a	12,33 a	15,23 a	20,09 a
	2	18,83 a	23,81 a	21,82 a	23,29 a
	4	23,42 a	30,50 a	36,11 a	37,94 a
	8	65,60 a	51,98 b	91,40 a	80,49 b
	Média	29,83 a ⁽²⁾	29,66 a	41,14 a	40,45 a
	CV		28,58		6,86
	Regressão/R ²	L**/0,91	L**/0,99	L**/0,93	L**/0,93
10-20	0	13,26 a	11,78 a	14,40 a	17,05 a
	2	24,20 a	21,98 a	19,13 a	27,67 a
	4	30,45 a	28,23 a	29,98 b	44,85 a
	8	58,98 a	45,56 b	67,18a	66,49 a
	Média	31,72 a	26,89 b	32,67 b	39,02 a
	CV		26,12		5,03
	Regressão/R ²	L**/0,98	L**/0,99	L**/0,94	L**/0,99
20-40	0	12,68 a	11,45 a	11,46 a	16,32 a
	2	22,95 a	15,75 a	15,02 a	14,68 a
	4	30,81 a	20,12 b	24,61 a	20,79 a
	8	56,81 a	37,89 b	58,44 b	69,65 a
	Média	30,81 a	21,30 b	27,38 a	30,36 a
	CV		22,28		9,48
	Regressão/R ²	L**/0,99	L**/0,96	L**/0,89	L**/0,83
40-60	0	11,35 a	10,91 a	12,49 a	11,02 a
	2	25,28 a	14,50 b	21,31 a	13,97 a
	4	27,11 a	20,83 a	27,98 a	21,37 a
	8	35,33 a	31,44 a	31,75 a	36,19 a
	Média	24,77 a	19,42 b	23,38 a	20,64 a
	CV		17,52		7,75
	Regressão/R ²	L**/0,86	L**/0,99	L**/0,87	L**/0,97
60-80	0	14,90 a	12,23 a	12,46 a	14,55 a
	2	18,90 a	14,56 b	13,00 a	16,65 a
	4	20,25 a	21,34 a	22,70 a	25,14 a
	8	28,65 a	26,78 a	28,90 a	28,98 a
	Média	20,68 a	18,73 a	19,27 a	21,33 a
	CV		30,97		6,43
	Regressão/R ²	L**/0,97	L**/0,96	L**/0,92	L**/0,91

⁽¹⁾ S/C = sem calcário (testemunha); C/C = com calcário (2,85 t ha^{-1}). ⁽²⁾ Letras iguais na mesma linha dentro de cada época não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Na segunda amostragem, porém, os teores de $S-SO_4^{2-}$ diminuíram em função da calagem nas camadas de 0-10 e 10-20 cm com a dose de 8 t ha^{-1} gesso, na camada de

20-40 cm nas doses de 4 e 8 t ha⁻¹ gesso e nas camadas de 40-60 e 60-80 cm na dose de 2 t ha⁻¹ gesso (Tabela 8). Esses resultados podem ser devidos ao aumento do pH do solo com o calcário nas camadas mais superficiais, fazendo aumentar a quantidade de cargas negativas no solo, repelindo o S-SO₄²⁻ que fica na solução do solo, mais suscetível à mobilização ou lixiviação para camadas mais profundas (QUAGGIO et al., 1993), bem como à combinação do S-SO₄²⁻ com os cátions mobilizados para camadas mais profundas do solo (ALBUQUERQUE et al., 2000).

Esses resultados estão de acordo com Camargo e Raij (1989), que citam que a aplicação do calcário pode favorecer a movimentação do S-SO₄²⁻ no solo. Costa (2011) também verificou maior movimentação do S-SO₄²⁻ no perfil do solo, quando utilizou-se a combinação calcário + gesso. Caires et al. (1999), no entanto, não verificaram efeito do calcário na movimentação de S-SO₄²⁻ no solo.

Na terceira amostragem, o teor de S-SO₄²⁻ novamente diminuiu com a calagem na camada de 0-10 cm para a dose de 8 t ha⁻¹ gesso, mas diferentemente da segunda amostragem, houve aumento no teor em função da calagem na camada de 10-20 cm com a dose de 4 t ha⁻¹ gesso, e na camada de 20-40 cm com 8 t ha⁻¹ gesso, sendo justificáveis estes aumentos pela reciclagem de S das culturas anteriores às amostragens.

Não houve efeito da calagem sobre o P do solo na primeira amostragem (Tabela 2), mas na segunda e terceira amostragens houve incremento no teor de P na camada de 0-10 cm (Tabela 9), de pequena amplitude em termos de disponibilidade para as plantas. Esse aumento no teor de P do solo pode ter sido devido ao aumento do pH (Tabela 3), que além de solubilizar fosfatos de ferro e alumínio do solo, reduz a adsorção ou retenção de P das adubações das culturas por meio do aumento do teor de OH⁻ no solo (CASAGRANDE, CAMARGO, 1997), sendo as adições de P de 63 e 105 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente nas semeaduras do trigo (2011 e 2012) e do milho (2011-2012).

Anghinoni & Salet (2007), analisando resultados de vários trabalhos realizados no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, concluíram que nesses estados havia maior resposta das culturas a doses de P do que a doses de calcário, com interação positiva nas doses mais baixas, e que a calagem aumenta a produtividade das culturas não somente por neutralizar o Al³⁺, mas também por aumentar a disponibilidade de P, resultante da diminuição da adsorção do P nativo e do aumento da eficiência da adubação fosfatada.

Não houve efeito do gesso nos teores de P do solo, nem interação com os níveis de calagem, concordando com os resultados obtidos por Costa (2011), que estudou o efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso em SPD. Os teores de P no

gesso agrícola não ultrapassam 0,6% de P₂O₅ (PAOLINELLI et al., 1986), portanto, as adições de P por meio do gesso chegariam a, no máximo, 48 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a lanco na maior dose de gesso no estudo (8.000 kg ha⁻¹), portanto com efeito menos pronunciado que as próprias adubações em sulco na semeadura das espécies do trigo e do milho.

Tabela 9. Teores de fósforo (mg dm⁻³), em diferentes profundidades, após calagem e aplicação superficial de doses de gesso em plantio direto (Guarapuava, 2013).

Prof. (cm)	Gesso (t ha ⁻¹)	10 meses após calagem e 5 meses após gessagem		17 meses após calagem e 12 meses após gessagem	
		S/C ⁽¹⁾	C/C	S/C	C/C
0-10	0	1,10 ⁽²⁾	1,15	1,39	1,40
	2	1,25	1,21	1,33	1,43
	4	1,10	1,22	1,34	1,47
	8	1,50	1,62	1,35	1,37
	Média	1,23 a ⁽³⁾	1,30 a	1,35 b	1,42 a
	CV %		15,43		16,02
	Regressão/R ²		ns		ns
10-20	0	0,31	0,33	0,35	0,34
	2	0,28	0,29	0,31	0,30
	4	0,32	0,32	0,36	0,32
	8	0,29	0,28	0,30	0,32
	Média	0,30 a	0,31 a	0,33 a	0,32 a
	CV %		15,64		20,54
	Regressão/R ²		ns		ns
20-40	0	0,24	0,24	0,25	0,26
	2	0,25	0,25	0,26	0,27
	4	0,26	0,24	0,27	0,26
	8	0,26	0,25	0,27	0,26
	Média	0,25 a	0,25 a	0,26 a	0,26 a
	CV %		17,83		19,10
	Regressão/R ²		ns		ns
40-60	0	0,22	0,21	0,20	0,23
	2	0,21	0,23	0,21	0,21
	4	0,23	0,22	0,23	0,20
	8	0,23	0,23	0,25	0,22
	Média	0,22 a	0,22 a	0,22 a	0,22 a
	CV %		12,48		14,63
	Regressão/R ²		ns		ns
60-80	0	0,18	0,20	0,20	0,20
	2	0,21	0,18	0,21	0,19
	4	0,20	0,20	0,23	0,22
	8	0,19	0,18	0,20	0,20
	Média	0,20 a	0,19 a	0,21 a	0,20 a
	CV %		11,48		15,12
	Regressão/R ²		ns		ns

⁽¹⁾ S/C = sem calcário (testemunha); C/C = com calcário (2,85 t ha⁻¹). ⁽²⁾ Letras iguais na mesma linha dentro de cada época não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Os teores máximos de P nas camadas de 0-10 e 10-20 cm foram 1,5 e 0,36 mg dm⁻³, respectivamente (Tabelas 1, 2 e 9), baixos considerando décadas de cultivo e mais de 10 anos de SPD. Entretanto, teores baixos de P são naturais nos solos de Guarapuava (Embrapa, 1984), e Virmond (2013) registrou teores similarmente baixos de P em área próxima dentro da estação experimental. Concorde para o fato que a mineralogia desses solos é rica em gibsitita e possui teores altos de goetita (Silva, 2006), e solos com predomínio de goetita fixam mais P que os solos hematíticos (Torrente et al., 1994; Borggaard, 1983).

Estudando a fertilidade dos solos em Guarapuava e municípios da região, a partir de quase 7.000 laudos (2007, 2008 e 2009) de análise química (0-20 cm), Ribas (2010) demonstrou que o baixo teor de P (> 3 mg dm⁻³) estava presente em 57 % dos laudos. Por outro lado, vale destacar que o solo do presente estudo possui mais de 700 g kg⁻¹ de argila e é rico em MO (Tabela 1), portanto um solo bastante tamponado, e segundo Novais & Smith (1999), pode haver subestimação dos valores do P-disponível extraído por Mehlich-1 em solos argilosos com acidez tamponada, pois o poder extrator de P é desgastado pelo próprio solo nessas condições (SANTOS et al., 2008).

3.6 Conclusões

A calagem superficial em SPD aumentou o pH do solo e os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ até a camada de 10-20 cm, e melhorou a disponibilidade P na camada de 0-10 cm.

A gessagem aumentou os teores de Ca²⁺ e S-SO₄²⁻ em todas as camadas do solo, mobilizou K⁺ da camada de 0-10 cm para a camada de 10-20 cm, e Mg²⁺ da camada de 0-10 cm para camadas mais profundas, alcançando maior profundidade com o passar do tempo e na presença de calcário, até os 60 cm aos 17 meses. Para a média das doses de gesso, o teor de K⁺ na camada de 20-40 cm aumentou aos 10 meses com calagem em relação aos tratamentos sem calagem.

4. CAPÍTULO II - NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DA SUCESSÃO TRIGO-MILHO-TRIGO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

4.1 Resumo: O experimento foi realizado em blocos ao acaso em esquema fatorial (2x4) duas doses de calcário (sem calcário e a dose para alcançar um V% de 70) e quatro doses de gesso (0, 2, 4, e 8 Mg ha⁻¹) com quatro repetições. Não houve efeito do calcário sobre a produtividade do trigo e os teores de macronutrientes na folha no ano de 2011. Para a cultura do milho houve aumento nos teores de N, P e S com a aplicação de calcário + gesso e redução de K⁺, para o Mg²⁺ houve aumento com a aplicação de gesso e calcário e redução somente com o gesso. A produtividade do milho foi aumentada linearmente pela aplicação de calcário e gesso, no entanto, quando se aplicou somente gesso a produção foi maior em comparação aquela encontrada quando se aplicou calcário + gesso. Para a cultura do trigo (2012) não se verificou efeito do calcário, gesso ou com a combinação dos dois sobre os valores de N, P e K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e S foram aumentados linearmente com a aplicação de calcário, gesso ou com a combinação dos dois. Houve aumento da produtividade somente com a aplicação de calcário + gesso.

Palavras – chave: Calagem, gessagem, cálcio, magnésio, enxofre.

NUTRITION AND YIELD OF WHEAT-CORN-WHEAT SUCCESSION AS A FUNCTION OF LIME AND GYPSUM SURFACE APPLICATION UNDER NO TILLAGE SYSTEM

4.2 Abstract: There was no effect of lime on wheat yield and on leaf macronutrients levels in 2011. To corn crop there was increase in leaf levels of N, P, Mg and S with lime + gypsum application and decrease in K. Isolated application of gypsum promoted a decrease in Mg leaf levels in corn. The corn yield increase linearly with application of lime + gypsum however when only gypsum was applied the yield was higher when compared with lime + gypsum application. For wheat (in 2012) no effect of lime, gypsum or the combination of both occurs in leaf levels of N, P and K. Levels of Ca, Mg and S increased linearly with lime, gypsum or with application of both. Yield of wheat increase only with lime + gypsum application.

Key words: Liming, gypsum, calcium, magnesium, sulphur

4.3 Introdução

No SPD, o não revolvimento do solo e a adição de fertilizantes, corretivos e resíduos vegetais na superfície do solo alteram atributos que se refletem na fertilidade do solo e na nutrição das plantas (MASCHIETTO, 2009), merecendo destaque a obtenção de altas produtividades na ausência de calagem em solos ácidos, possivelmente devido à menor toxicidade de Al^{3+} , concentrações suficientes de bases trocáveis e maior umidade disponível (CAIRES, 2011) nos solos sob tal condição.

Caires et al. (2002) não observou efeito nos teores foliares de nutrientes em trigo, após calagem em aplicação única superficial em SPD, em safra sem déficit hídrico. Inicialmente o solo possuía $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al^{3+} (0-20 cm), e aos 23 meses após a calagem, na semeadura do trigo, os resultados foram de $V = 38,5\%$ na testemunha ($pH_{CaCl_2} = 4,6$) e $V = 49,3\%$ com a calagem ($pH_{CaCl_2} = 5,0$), na média de 0-20 cm. A produção de grãos, no entanto, não se alterou, sendo de 3.685 e 3.695 kg ha^{-1} , respectivamente, levando à conclusão de que, com teores suficientes de Ca^{2+} e Mg^{2+} e sem Al^{3+} em nível tóxico, é possível alcançar alta produtividade sem calagem em SPD.

Isto se deve à manutenção dos resíduos na superfície do solo em SPD, que possibilita maiores níveis de matéria orgânica (CIOTTA et al., 2003), aumentando a capacidade de troca de cátions (CTC) e a adsorção de cátions trocáveis (Ca, Mg, K) (MUZILLI, 2007), o que permite manter maior nível de $V\%$ (CALEGARI et al., 1992). Ademais, mesmo com pH do solo mais baixo, em SPD o teor de Al^{3+} também pode ser baixo, devido à complexação do Al^{3+} com ácidos orgânicos estáveis (ANGHINONI, SALET, 2007), providos em maior quantidade pela matriz orgânica dos solos sob SPD.

Toda esta dinâmica gerou dúvidas sobre a necessidade de calagem (NC) em SPD, no sentido de que a NC possa ser menor neste sistema de manejo. Entretanto, quando as plantas se desenvolvem em condições de baixa disponibilidade hídrica, as respostas das culturas à calagem se intensificam. Caires et al. (2005) obtiveram aumento de produtividade de trigo de $1,25$ para $3,75 \text{ t ha}^{-1}$ de grãos após 10 anos da aplicação de 4 t ha^{-1} de calcário em SPD. Joris (2011), aplicando calcário na superfície do solo em SPD, observou aumento linear nos teores foliares de P, Ca e Mg em milho cultivado quatro anos depois, com máxima produtividade, obtida com $9,2 \text{ ton ha}^{-1}$ calcário, 42% superior à produtividade da testemunha em safra com períodos de estresse hídrico.

É necessário, portanto, que os estudos de fertilidade do solo e nutrição de plantas em SPD sejam sistêmicos, relacionando ambiente de produção e estabilidade produtiva

ao longo de vários anos. Neste sentido, o gesso agrícola é uma alternativa adicional para o manejo da fertilidade dos solos, como demonstra o mesmo trabalho de Caires et al. (2002), em que o trigo não respondeu à calagem, mas a aplicação de gesso na área aumentou a concentração foliar de Ca e S e causou acréscimo na produção da cultura.

O gesso, subproduto da fabricação do ácido fosfórico (CAIRES et al., 2003), possui solubilidade cerca de 145 vezes maior que a do calcário (LEITE, 2005). No subsolo, o gesso precipita o Al^{3+} e fornece Ca^{2+} , criando um ambiente mais favorável ao desenvolvimento radicular (SUMNER, 1995). Caires et al. (1999) observaram resposta quadrática da produtividade do milho em SPD em função da gessagem, estimando em 1.100 kg ha^{-1} o aumento de rendimento com a dose de máxima eficiência ($9,5 \text{ t ha}^{-1}$ de gesso), devido ao fornecimento Ca e S às plantas e redução do teor de Al^{3+} no solo.

Em estudo com a cevada em condições de deficiência hídrica, a aplicação de gesso melhorou os teores foliares de N, P, K, Ca e S, proporcionando acréscimo de 23% na produtividade em relação à testemunha, com a dose de 9 t ha^{-1} de gesso (Caires et al., 2001). Por outro lado, Caires et al. (1998) observou redução no teor foliar de Mg^{2+} com doses crescentes de gesso, causando redução na produtividade da soja, sendo este um efeito comum da aplicação de gesso, em função da mobilização Mg^{2+} e, em menor intensidade, de K^+ para camadas mais profundas do solo (SUMNER, 1995), podendo causar redução na absorção e deficiência desses nutrientes nas plantas.

Portanto, ainda há dúvidas quanto à recomendação do gesso e em que condições podem-se esperar respostas positivas das culturas à gessagem, havendo necessidade de estudos regionalizados sobre as necessidades e as respostas das culturas à calagem e à gessagem em SPD, sendo que a associação dessas duas práticas pode ser um caminho para melhorar o manejo da fertilidade do solo e a nutrição das plantas, maximizando a produtividade de grãos em diferentes condições de solo e de disponibilidade hídrica.

Com este trabalho, o objetivo foi estudar a nutrição e produtividade das culturas de trigo e milho em sucessão, em função da aplicação superficial de calcário e gesso em solo pobre em Al^{3+} e com teor adequado de Ca^{2+} no perfil, em SPD no Centro-Sul do Paraná.

4.4 Material e métodos

A caracterização da área do estudo, o delineamento experimental e demais detalhes encontram-se descritos no capítulo I. Os dados de precipitação e temperatura

durante o período experimental (Figura 1) foram obtidos na estação meteorológica da rede do Instituto Agrônomo do Paraná, localizada a 25° 23' S, 51° 30' O e 1.026 m altitude, dentro do *Campus* CEDETEG da UNICENTRO, a cerca de 6 km do experimento.

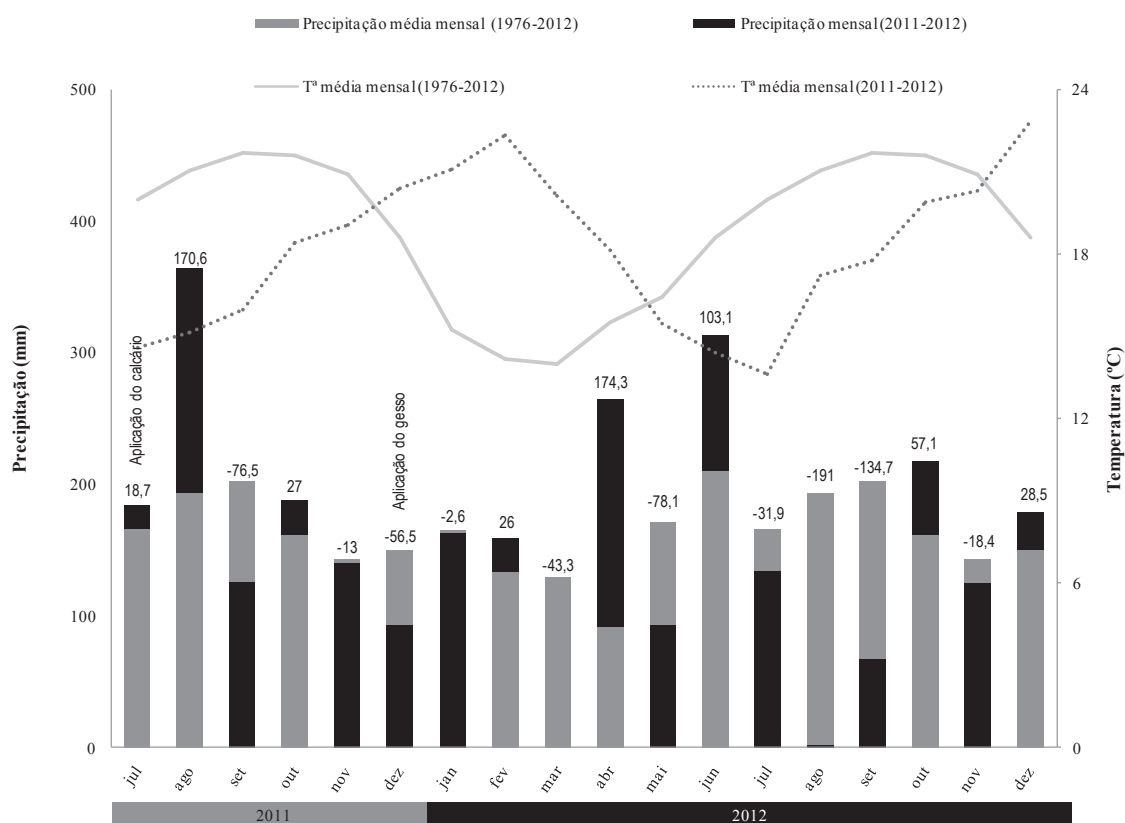


Figura 1. Médias históricas (1976-2010) e observadas (jul/11 a dez/12) de precipitação pluvial e temperatura (T^a) em Guarapuava (PR). Valores nas barras indicam o desvio entre as precipitações histórica e observada, durante o período experimental.

O primeiro e o terceiro cultivos na área experimental foram de trigo, semeado em julho de 2011 e de 2012, utilizando-se a cultivar Mirante® (OR Sementes), com 0,17 m de espaçamento entre linhas e população de 250 plantas m^{-2} . A adubação foi feita com 370 $kg\ ha^{-1}$ do formulado NPK 08-17-17. Em cobertura, a adubação foi de 50 $kg\ ha^{-1}$ de nitrogênio (N) na forma de uréia, na fase de perfilhamento. Em dezembro de 2011 foi semeado o milho, segundo cultivo, utilizando-se o híbrido P3646H® (Pioneer Sementes), com 0,8 m de espaçamento entre linhas e população de 75.000 plantas ha^{-1} . A adubação foi feita com 350 $kg\ ha^{-1}$ do formulado 08-30-20 e cobertura com 120 $kg\ ha^{-1}$ de N na forma de uréia, parcelados em duas aplicações (4-6 folhas e 6-8 folhas).

Amostras de tecido foliar foram colhidas no início do período reprodutivo das culturas, estágio 10.5 da escala de Feeks-Large (LARGE, 1954) para o trigo e R1 para o milho (RITCHIE; HANWAY, 1989). No trigo coletou-se a folha bandeira, enquanto no milho a folha coletada foi a oposta e abaixo da espiga (COMISSÃO, 2004). As folhas foram enxaguadas em água deionizada, secas ao ar e moídas em moinho tipo Willey, sendo que, no caso do milho, apenas a porção central do limbo foi moída. As análises químicas determinaram os teores foliares de: N, extraído por digestão sulfúrica, e P, K, Ca, Mg e S, extraídos por digestão nítrico-perclórica (MALAVOLTA, 1997).

Para avaliar a produtividade, utilizou-se colhedora automotriz de parcelas no trigo, em uma área central de 6,75 m² por parcela. No milho, a colheita foi manual, coletando-se as espigas de 4 metros lineares na área central das parcelas, sendo a trilha realizada manualmente. Tanto para o trigo quanto para o milho, os grãos trilhados foram manualmente limpos de impurezas e pesados, sendo o peso corrigido para a umidade de 13% no caso do trigo e 14% no caso do milho.

Os dados do trigo de 2011, sob efeito apenas da calagem, foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Para o milho (2011/2012) e o segundo cultivo de trigo (2012), os dados foram submetidos às análises de variância e regressão. Neste caso, não havendo interação significativa ($p < 0,05$) entre os fatores calagem e doses de gesso, os efeitos da calagem foram comparados pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) e procedeu-se à análise de regressão para o fator gesso, com as médias dos níveis de calagem em cada dose de gesso, adotando-se os modelos com o maior nível de significância estatística.

4.5 Resultados e Discussão

Em 2011, quando somente o calcário havia sido aplicado, não houve efeito significativo da calagem sobre os teores foliares de nutrientes do trigo (Tabela 10), condizendo com o pequeno prazo de reação do corretivo, de cerca de 80 dias até a coleta de folhas, e com o fato de que, no período, foram encontrados efeitos ainda restritos da calagem no solo, somente com aumento de pH e do teor de Ca²⁺ e com diminuição do teor de Al³⁺ na camada de 0-10 cm (Tabela 2, Capítulo I). Estes resultados vão ao encontro dos observados por Caires et al. (2002), de que os teores de nutrientes em folhas de trigo não se alteraram após calagem superficial em SPD, em safra sem déficit hídrico, a exemplo da safra de trigo de 2011 em Guarapuava (Figura 1).

Tabela 4. Teores foliares de macronutrientes e produtividade do trigo (2011) em função da calagem superficial em sistema plantio direto (Guarapuava, 2013).

	N	P	K	Ca	Mg	S	Prod.
	-----g kg ⁻¹ -----						kg ha ⁻¹
S/C ⁽¹⁾	41,32 a ⁽²⁾	6,50 a	20,12 a	4,60 a	1,30 a	6,10 a	3.219 a
C/C	42,10 a	6,61 a	20,34 a	4,70 a	1,45 a	6,11 a	3.312 a

⁽¹⁾ S/C = sem calcário (testemunha); C/C = com calcário (2,85 t ha⁻¹). ⁽²⁾ Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Quanto à produtividade do trigo, o período entre calagem e colheita foi de 140 dias, não havendo efeito significativo em função da calagem (Tabela 10). Caires et al. (1999, 2002) também não obtiveram efeito da calagem superficial em SPD sobre a produtividade de trigo. Resultados como estes têm sido encontrados com frequência, o que pode ser devido ao menor efeito tóxico do Al³⁺, que em SPD forma complexos com compostos orgânicos advindos dos restos de cultura (MIYAZAWA et al., 1996), e aos teores iniciais de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, que se adequados no solo mantêm relação favorável com o Al³⁺ (CAIRES et al., 1998), tornando possível produzir bem em SPD sem calagem. Subsídio a esta afirmação está no fato de que os teores foliares expressos na Tabela 10 estão acima dos níveis de suficiência para o trigo (SILVA, 2009).

No milho cultivado em sequencia (2011/2012), não houve efeito da calagem isoladamente nos teores foliares dos nutrientes. Entretanto, houve interação significativa entre calagem e doses gesso para todos os nutrientes estudados (Tabela 11). O gesso propiciou aumento linear dos teores foliares de N, mas apenas na presença da calagem, e somente com 8 ton ha⁻¹ de gesso é que o teor de N foi superior C/C em relação a S/C.

Costa (2011), trabalhando com sorgo granífero, também verificou aumento nos teores foliares de N quando usou calcário e gesso, sendo que a aplicação isolada de gesso não influenciou o teor de N nas folhas. Resultado similar na absorção de N, mas com milho, também foi obtido por Michalovicz (2012) ao estudar o efeito da aplicação de doses de gesso na nutrição da cultura em SPD em Guarapuava.

Segundo Rosolem et al. (1993), a mineralização do N orgânico é favorecida pela elevação do pH do solo (Tabela 2), podendo, no presente caso, ter influenciado na maior absorção de N pelo milho. Outrossim, a gessagem pode resultar em sistema radicular mais desenvolvido, melhor exploração do subsolo e aproveitamento da água e nutrientes, que também podem advir das adubações, e no caso da formação de ânions como o N-NO₃⁻, há mobilização a partir das camadas superficiais e retenção nas camadas subsuperficiais do solo (RAIJ, 2008).

Tabela 5. Teores foliares de macronutrientes (g kg^{-1}) nas culturas de milho (2011/2012) e trigo (2012) em função da calagem e aplicação de doses de gesso agrícola na superfície do solo sob plantio direto (Guarapuava, 2013).

	Gesso t ha^{-1}	Milho (2011/2012)		Trigo (2012)	
		S/C ⁽¹⁾	C/C	S/C	C/C
Nitrogênio	0	41,23 a	40,33 a	42,31	41,07
	2	41,10 a	41,12 a	41,91	41,42
	4	40,45 a	42,23 a	41,07	41,32
	8	41,00 b	43,45 a	41,92	42,06
	Média	40,95 a ⁽²⁾	41,78 a	41,80 a	41,47 a
	CV %		2,00		3,04
	Regressão/R ²	ns	L**/0,98		ns
Fósforo	0	4,11 b	4,33 a	6,71	6,69
	2	4,44 a	4,52 a	6,56	6,39
	4	4,80 a	4,61 a	6,49	6,30
	8	4,81 a	4,75 a	6,72	6,32
	Média	4,54 a	4,55 a	6,62 a	6,43 a
	CV %		15,54		4,41
	Regressão/R ²	ns	L**/0,93		ns
Potássio	0	20,75 a	20,90 a	20,13	20,65
	2	21,43 a	20,81 a	20,87	20,41
	4	20,95 a	20,50 a	20,47	20,64
	8	20,59 a	20,10 b	20,69	20,12
	Média	20,93 a	20,58 a	20,54 a	20,46 a
	CV %		2,59		2,83
	Regressão/R ²	ns	L*/0,97		ns
Cálcio	0	7,35 a	7,51 a	4,65	4,78
	2	7,50 a	7,91 a	4,76	4,83
	4	7,71 b	8,12 a	4,81	4,96
	8	7,91 b	8,32 a	4,99	5,12
	Média	7,62 a	7,97 a	4,80 a	4,92 a
	CV %		5,39		8,34
	Regressão/R ²	L**/0,97	L**/0,89	L*/0,98	L*/0,98
Magnésio	0	2,66 a	2,62 a	1,31	1,52
	2	2,60 a	2,85 a	1,43	1,57
	4	2,52 a	2,85 a	1,52	1,61
	8	2,45 b	3,21 a	1,62	1,65
	Média	2,56 a	2,88 a	1,47 a	1,59 a
	CV %		11,13		14,31
	Regressão/R ²	L*/0,98	L*/0,94	L*/0,95	L*/0,94
Enxofre	0	4,27 a	4,97 a	6,00	6,02
	2	5,19 a	5,20 a	6,05	6,15
	4	5,25 a	5,35 a	6,09	6,20
	8	5,50 a	5,68 a	6,15	6,25
	Média	5,05 a	5,30 a	6,07 a	6,16 a
	CV %		10,32		3,72
	Regressão/R ²	L*/0,70	L*/0,99	L**/0,98	L**/0,84

⁽¹⁾ S/C = sem calcário (testemunha); C/C = com calcário ($2,85 \text{ t ha}^{-1}$). ⁽²⁾ Letras iguais na mesma linha e para a mesma cultura não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Na ausência do gesso, a calagem resultou em maior teor foliar de P no milho, o que pode ser atribuído à correção da acidez do solo (Tabelas 3 e 4) e também ao acréscimo no teor de P, mesmo que de pequena magnitude, na camada de 0-10 cm (Tabela 9) em função da calagem. Os teores de P nas folhas ficaram acima do nível de suficiência para o milho (Embrapa, 2009), mostrando que mesmo com teores baixos de P extraído por Mehlich-I no solo (Tabelas 1, 2 e 3), não houve limitação para a cultura.

Embora sem aumento significativo do teor de P no solo pela gessagem (Tabela 9), o aumento das doses de gesso nos tratamentos C/C propiciou aumento linear do teores foliares de P. Tal fato vai ao encontro da observação de Sumner et al. (1986), de que se deve levar em consideração o P contido como impureza no gesso agrícola, pois com doses elevadas as adições de P podem ser importantes na nutrição vegetal.

Houve queda linear do teor de K nas folhas do milho com o aumento das doses de gesso combinado à calagem. Na maior dose de gesso, o teor foliar de K foi menor C/C do que S/C. A menor absorção do K pela cultura na combinação de calagem e gessagem pode ter sido por inibição competitiva, reflexo das adições de Ca e Mg pela calagem, que aumentou significativamente o teor de Ca^{2+} na camada de 0-10 cm do solo neste período (Tabela 5), bem como pelo aumento linear de Ca^{2+} no solo com as doses de gesso que, associado aos elevados teores de Mg^{2+} no solo (Tabela 6) e à mobilização do K^+ da camada de 0-10cm para a de 10-20 cm (Tabela 7), diminuíram a disponibilidade de K^+ em relação às outras bases. Caires et al. (2002), por outro lado, não verificaram decréscimo nos teores foliares de K no trigo em função do uso de gesso.

As doses de gesso aumentaram o teor foliar de Ca, com maior intensidade quando combinadas à calagem. Com 4 e 8 ton ha^{-1} de gesso, o teor de Ca foi superior em C/C na comparação com S/C. Tanto o calcário quanto o gesso possuem Ca em sua composição, sendo a disponibilização de Ca^{2+} no perfil do solo pela calagem e pela gessagem condizente com o resultado. Resultados semelhantes foram encontrados por Caires et al. (2004) e Costa (2011).

No caso do Mg, as doses de gesso causaram redução no teor foliar do nutriente. Entretanto, quando o uso do gesso foi precedido de calagem, houve aumento no teor foliar de Mg no milho. Este resultado se deve ao aumento significativo do teor de Mg^{2+} no solo pela calagem, com significância na camada de 0-10 cm para as doses de 0 e 2 ton ha^{-1} gesso, na camada de 10-20 cm para a dose de 8 ton ha^{-1} de gesso, e na camada de 20-40 cm para a dose de 4 e 8 ton ha^{-1} de gesso (Tabela 6). Michalovicz (2012)

também verificou redução no teor foliar de Mg do milho mediante aplicação de doses crescentes de gesso sem combinação à calagem.

O aumento das doses de gesso propiciaram incremento nos teores foliares de S no milho, S/C e C/C, o que se deve à composição do gesso, que possui cerca de 17% de $S-SO_4^{2-}$ (RAIJ, 2008). Caires et al. (2004), por outro lado, não verificaram aumento de S nas folhas de milho com aumento da dose de gesso.

Quanto à produtividade do milho, não houve efeito da calagem, mas houve interação entre calagem e doses de gesso. A gessagem aumentou linearmente a produtividade da cultura nos tratamentos C/C e, de forma mais intensa, também nos tratamentos S/C (Figura 2), sendo a menor produtividade obtida na combinação S/C e na dose 0,0 ton ha⁻¹ de gesso.

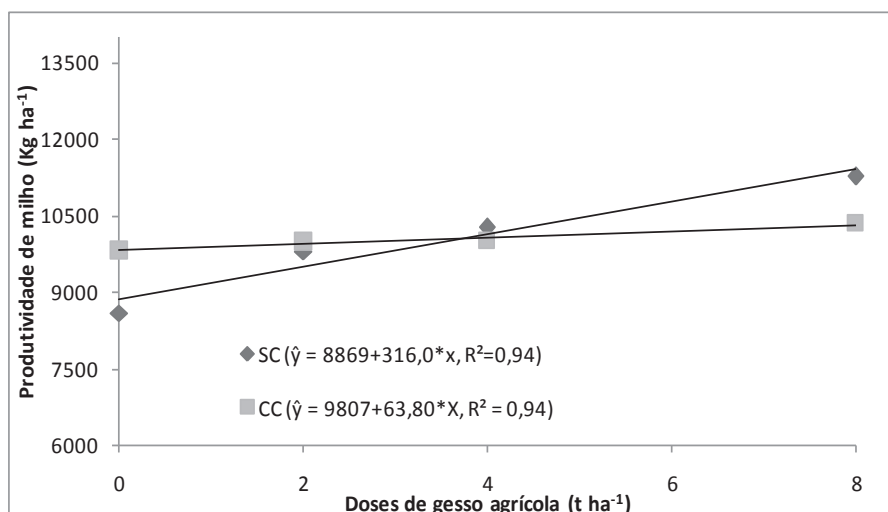


Figura 2. Produtividade da cultura do milho (2011/2012) em função da calagem e aplicação de doses de gesso agrícola na superfície do solo em plantio direto (Guarapuava, 2013). S/C = sem calcário; C/C = com calcário (2,85 t ha⁻¹).

Quando se usou somente gesso, houve correlação positiva da produtividade com os teores de Ca^{2+} no solo ($r= 0,74^{**}$) e nas folhas ($r= 0,68^{**}$), demonstrando ser este um papel importante do uso do gesso sobre a produtividade do milho. Quanto houve combinação de calagem com o gesso, observou-se correlação da produtividade com pH do solo ($r= 0,61^{**}$), com teor de Mg^{2+} no solo e na folha ($r= 0,70^{**}$; $r= 0,69^{**}$) e com Ca^{2+} na folha ($r= 0,72^{**}$), em acordo com os efeitos do calcário, que aumentou o pH do solo e acrescentou Ca^{2+} e Mg^{2+} (Capítulo I), fatores que melhoraram o ambiente do solo, incrementaram a nutrição das plantas e maximizaram a produtividade de grãos.

Caires et al. (1999) verificaram aumento na produção de milho mediante doses crescentes de gesso, mas sem efeito da calagem. Em outro estudo, Caires et al. (2004) obtiveram maiores produtividades com a associação calcário + gesso em comparação ao uso exclusivo de gesso.

Quanto ao trigo da safra 2012, não houve efeito significativo da calagem sobre os teores foliares dos nutrientes (Tabela 11), nem interação com as doses de gesso. Em relação ao milho antecessor, neste cultivo de trigo não houve nem mesmo efeito das doses de gesso sobre os teores foliares de N, P e K, resultados que estão em acordo com os de Caires et al. (2002), que também não verificaram efeito de calcário ou de gesso aplicados em superfície em SPD nos teores foliares de N, P e K na cultura do trigo.

Os teores de Ca, por outro lado, aumentaram linearmente nas folhas de trigo com as doses de gesso, S/C e C/C. Conforme discutido para o milho, isso se deve à disponibilização de Ca^{2+} no solo para as plantas, que foi mais intensamente influenciada pelo gesso (Tabela 5), chegando à camada de 60-80 cm. Michalovicz (2012) também observou aumento no teor foliar de Ca do trigo em função da gessagem.

Diferentemente do que ocorreu no milho, quando a aplicação de gesso S/C promoveu queda do teor foliar de Mg, no trigo houve aumento dos teores foliares desse nutriente em função do gesso em ambas situações, S/C e C/C. Esses resultados concordam com os encontrados por Caires et al. (1999) para o trigo. Isso pode ter ocorrido pela maior necessidade de Mg nas folhas do milho, o que se observa pelos valores na Tabela 11, bem como pelo fato de que, com sistema radicular mais desenvolvido e profundo, o milho pode ter reciclado Mg suficiente através de seus restos culturais para o trigo subsequente.

O comportamento dos teores de S foi similar ao dos de Ca nas folhas do trigo, aumentando linearmente com as doses de gesso, S/C e C/C. Conforme já discutido, o gesso possui S em sua composição (RAIJ, 2008), favorecendo a disponibilidade do elemento no solo para as plantas. Rampim (2008) também verificou aumento de S em folhas de trigo com doses crescentes de gesso.

No período em que a safra de trigo 2012 esteve no campo, houve um período de restrição hídrica (Figura 1), que fez com que a cultura reduzisse em 40% a produtividade em relação ao ano anterior (Figura 3). Nesta condição, houve interação entre calagem e doses de gesso sobre a produtividade do trigo, sendo que calagem, isoladamente, não exerceu influência sobre o rendimento do trigo. O gesso, por sua vez,

não influenciou a produtividade da cultura nos tratamentos S/C, no entanto o aumento das doses de gesso C/C propiciou aumento linear no rendimento de grãos.

Resultados semelhantes foram encontrados por Caires et al. (2001) que trabalharam com a associação de calcário e gesso e, em condições de déficit hídrico, obtiveram um acréscimo de 23% na produtividade de cevada com uma dose de 4,5 t ha⁻¹ de calcário e 9 t ha⁻¹ de gesso agrícola. Segundo os autores, esse resultado foi devido à melhoria do ambiente radicular, mais intenso com a combinação dos fatores, proporcionando maior exploração do solo pelas raízes e maior absorção de água e nutrientes, com a contribuição das camadas mais profundas do solo.

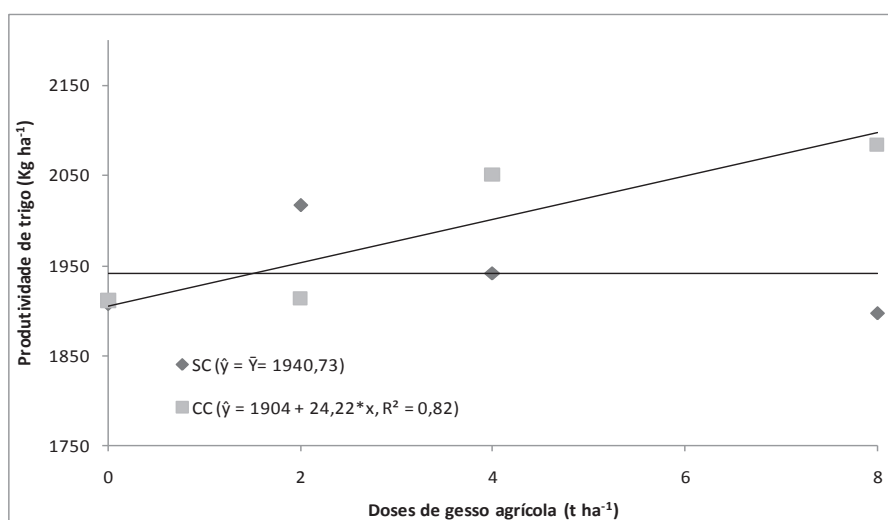


Figura 3. Produtividade da cultura do trigo (2012) em função da calagem e aplicação de doses de gesso agrícola na superfície do solo em plantio direto (Guarapuava, 2013). S/C = sem calcário; C/C = com calcário (2,85 t ha⁻¹).

Para esta safra do trigo, a produtividade foi positivamente correlacionada com pH ($r=0,63^{**}$) e com os teores de Ca e Mg nas folhas ($r=0,51^*$; $0,63^{**}$), similarmente ao verificado para o milho, sendo esses resultados relacionados aos efeitos benéficos da associação do calcário com o gesso. Resultado semelhante foi encontrado por Costa (2011), para a cultura do sorgo granífero, e por Caires et al. (2002), para a cultura do trigo

Se pegar as duas culturas e fazer a produção acumulada, onde foi feita somente a aplicação de gesso, obteve-se uma produção de 316 kg a mais em relação a testemunha, já onde se fez a associação de calcário e gesso obteve-se uma produção de 87 kg a mais em relação a testemunha.

4.6 Conclusões

A aplicação de calcário, de forma isolada, na dose recomendada para elevar a saturação por bases a 70 % na camada de 0-20 cm, não influenciou significativamente a produtividade e a nutrição do trigo cultivado logo após a calagem, em safra com boa distribuição de chuvas (2011), nem a produtividade e a nutrição do milho em sucessão (2011-2012), exceto pelo aumento do teor foliar de P, e nem a produtividade e nutrição do trigo na safra seguinte, com distribuição irregular das chuvas neste caso (2012).

A aplicação de gesso, isoladamente, aumentou os teores de Ca e S e diminuiu os de Mg nas folhas do milho (2011-2012), e aumentou os teores de Ca, Mg e S nas folhas do trigo (2012). Em conjunto com a calagem, o gesso aumentou os teores de todos os nutrientes estudados no milho (2011-2012), e no trigo (2012) somente os de Ca, Mg e S.

A produtividade do milho aumentou com as doses crescentes de gesso, com ou sem a presença do calcário. No caso do trigo, a produtividade aumentou linearmente quando houve combinação de calcário e gesso.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTANA, E. C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, p. 295-300, 2000.

ALMEIDA, J.A.; ERNANI, P. R. Influência do solvente, da relação solo/solvente e da incubação das amostras úmidas na variação do pH de solos catarinenses. *Ciência Rural*, v.26, n.1, p.81-85, 1996

ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos**: Características e interpretações técnicas. 2 ed. São Paulo, ANDA; 1992. 26p. (Boletim Técnico, 6)

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos**: Características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 24p. 2005. (Boletim técnico N 6).

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, **R. Bras. Ci. Solo**, v. 29, p. 923-934, 2005.

ALVA, A. K.; SUMNER, M. E.; MILLER, W. P. Reactions of gypsum or phosphogypsum in weathered acid subsoils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 54, p. 993-998, 1990.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesqui. Agropec. Bras.**, n. 36, p. 695-702, 2001.

ANGHINONI, I.; SALET, R.L. Calagem no sistema de plantio direto. In: Simpósio sobre informações recentes para otimização da produção agrícola, 2007, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute - IPNI, 2007.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. **Mapa de Solos do Estado do Paraná**. Legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Florestas: Embrapa Solos: Instituto Agrônômico do Paraná, 2008. 74p.

BLEVINS, R. L.; MURDOCK, L. W.; THOMAS, G. W. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. **Agron. J.** n. 70, p. 322-326, 1978.

BORGGGAARD, O.K. The influence of iron oxides on phosphate adsorption by soil. **European Journal of Soil Science**, v.34, p.333-341, 1983.

BORTOLINI, D.; CASSOL, L. C.; BOSI, C. Dinâmica do calcário 34 meses após sua aplicação em área sob plantio direto consolidado, **Syn. Scy.**, v. 4, n. 1, 2009.

BRIEDIS, C.; MORAES, J. C.; CAIRES, E. F.; NAVARRO, J. F.; INAGAKI, T. M.; FERREIRA, A. O. Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto, **Pesq. Agropec. Bras.**, v.47, n.7, p.1007-1014, 2012.

- CAIRES, E.F. Controle da acidez e melhoria do ambiente radicular no sistema plantio direto. In: FONSECA, A.F.; CAIRES, E.F.; BARTH, G. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto**. 1.Ed. Ponta Grossa:Associação dos Engenheiros Agrônomos de Ponta Grossa, Universidade Estadual de Ponta Grossa, p.23-68, 2011.
- CAIRES, E.F.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, v.97, p.791-798, 2005.
- CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v. 60, n. 3, p. 213-223, 2001.
- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 275-286, 2003.
- CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 27-34, 1998.
- CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Sci. Agri**; 59, p. 357-364, 2002.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.315-327, 1999.
- CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 125-136, 2004.
- CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema de plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.30, p.87-98, 2006.
- CAMARGO, O. A.; RAIJ, B. van. Movimento do gesso em amostras de Latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 13, p. 275-280, 1989.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.e PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, n. 19, p. 121-126, 1995.
- CANTARELLA, H.; PROCHNOW, L. I. Determination of sulfate in soils. p. 225-230. 2001.In: RAIJ, B. VAN; ANDRADE, E.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A., eds. **Chemical analysis for evaluation on the fertility of tropical soils.**, Campinas: IAC.

CASAGRANDE, J. C.; CAMARGO, O. A. Adsorção de fosfato em solos com caráter ácido avaliada por um modelo de complexação de superfície. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 21, p. 353-360, 1997.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras, **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 527-538, 1998.

CIOTTA, M. N. BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J. A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 317-326, 2004.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10a. ed. Porto Alegre, 2004.

COSTA, C. H. M. da. **Efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso nas culturas de soja, aveia-preta e sorgo granífero**. Botucatu: UNESP, 2011. 80 f. (Tese de Doutorado).

DENARDIN, J. E. **Evolução e qualificação do plantio direto no Brasil**. Disponível em: <<http://www.bioetanol.org.br/hotsite//arquivo/editor/file/Workshop%20MBI/CTBE%20-%20Jose%20Denardin.pdf>>. Acesso em: 21/02/ 2013.

DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T. **Development and Current Status of No-till Adoption in the World**. In: 18th Triennial Conference of the International Soil Tillage Research Organization (ISTRO), June 15-19, 2009, Izmir, Turkey.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Milho e Sorgo. **Sistemas de Produção: Cultivo do Milho**. 4ª ed, 2008a. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/index.htm>>. Acesso em: 05/11/2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Pecuária Sudeste. **Recomendações técnicas para o cultivo de aveia**. 2000. Disponível em: <<http://www.cppse.embrapa.br/sites/default/files/principal/publicacao/BoletimPesq06.pdf>>. Acesso em: 05/09/2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná**. 1998/1999. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/460019/1/doc119.pdf>>. Acesso em: 05/09/2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Trigo. **Informações Técnicas para a Safra 2009: Trigo e Triticale**. Passo Fundo: Embrapa, 2008. 172p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná**. Tomo I. Londrina: EMBRAPA-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. 414p. (EMBRAPA-SNLCS, Boletim Técnico, 57).

ERNANI, P.R.; RIBEIRO, M.F.S. e BAYER, C. Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 35, p. 889-901, 2004.

FEBRAPDP. FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. **Evolução da área de plantio direto no Brasil**. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/?i1=34eAcoBnLhRWY05WYsBXYIJXYa12&i2=4b8QYIJXYfde&i3=e46ARQBSZkBSYIJXwece&i4=&i5=34eAcoBnLhRWY05WYsBXYIJXYa12&m=1>>. Acesso em: 09/03/2013.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Dinâmica da calagem superficial em um Latossolo Vermelho distrófico. **R. Bras. Ci. Solo**, v.29, p.235-247, 2005.

FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização de calcário no solo por método biológico. **Sci. Agrí.**, v.58, p.357-360, 2001.

HOLZSCHUH, M. J. **Eficiência de calcário calcítico e dolomítico na correção da acidez de solos sob plantio direto**. Santa Maria: UFSM, 2007, 85p. (Dissertação de Mestrado).

IAPAR . Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná**. Versão 1.0. 2000. (formato digital) 1 CD.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; GATIBONI, L. C.; BORTOLUZZI, E. C.; XAVIER, F. M. Resposta das culturas à aplicação de calcário em superfície ou incorporado ao solo em campo nativo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.30, p.605-609. 2000.

LARGE, E. C. Growth stages in cereals. Illustration of the Feekes scale. **Plant Pathology**, v.3, p.128-129, 1954.

LEITE, E. M. **Utilização de corretivos químicos em solos degradados por sódio usando milheto (*pennisetum americanum* L.) como planta teste**. Areia: UFPA, 2005, 62p. (dissertação de Mestrado).

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARQUES, R. R. **Aplicação superficial de calcário e gesso em manejo conservacionista de solo para cultivo de amendoim e aveia branca**. Botucatu: UNESP, 2008, 142 f. (Tese de Doutorado).

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

MICHALOVICZ, L. **Atributos químicos do solo e resposta da sucessão milho-cevada-feijão-trigo influenciados por doses e parcelamento de gesso em plantio direto.** Guarapuava: UNICENTRO, 2012. 41 f. (Dissertação de Mestrado).

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; SANTOS, J. C. F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANTSOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., Belo Horizonte, 1996. In: KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto.**

MUZILLI, O. Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto: a experiência no Estado do Paraná. In: Simpósio sobre informações recentes para otimização da produção agrícola, 2007, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute - IPNI, 2007.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.

OATES, K. M. e CALDWELL, A. G. Use of by product gypsum to alleviate soil acidity. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 49, p. 915-918, 1985.

OLIVEIRA, E.L. & PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil Till. Res.**, v. 38, p. 47-57, 1996.

PAOLINELLI, M.T.; OLIVEIRA, P.M.; SANTOS, P.R.R.S.; LEANDRO, V.P.; MORAES, W.W. Aplicação direta do fosfogesso. In: Seminários do fosfogesso na agricultura, I, 1986, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. P.197-207.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade.** Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1992. 38p. (Circular, 76)

PÖTTKER, D. Correção da acidez do solo em lavouras sob plantio direto e campo nativo. In: KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto.** Pelotas: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2000. p.77-94.

RAIJ, B van. **Gesso na agricultura.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2008, 233p.

RAIJ, B. van. Reações de gesso em solos ácidos. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., Uberaba, 1992. **Anais.** Uberaba, IBRAFOS, 1992. p.105-119.

RAIJ, B. van; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; PETTINELLI JÚNIOR, A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 101-108, 1998.

RAMPIM, L. **Atributos químicos de um Latossolo Bruno eutroférico submetido a gessagem e cultivado com trigo e soja em semeadura direta.** Marechal Cândido Rondon: UNIOESTE, 2008. 81p. (Dissertação de Mestrado).

REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. **Agrochimica**, v. 4, p. 1-6, 1972.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, p. 797-805, 2000.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J. **How a corn plant develops.** Special Report No. 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Ames, Iowa. 1989. Disponível em: <<http://www.biologie.uni-hamburg.de/bonline/artmlibrary/maize/www.ag>

ROSOLEM, C. A.; PEREIRA, H. F. M.; BESSA, M. A.; AMARAL, P. G. Nitrogen in soil and cotton growth as affected by liming and nitrogen fertilizer. In: WRIGHT,

SÁ, J. C. M. **Manejo da Fertilidade do solo no plantio direto.** Castro: Fundação ABC, 1993. 94p.

SANTOS, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto, **Ciênc. R.**, v.38, n.2, p. 576-586, 2008.

SILVA, A. A.; VALE, F. R.; FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; MUNIZ, J. A.. Efeitos de relações $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ na mobilidade de nutrientes no solo e no crescimento do algodoeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 451-457, 1998.

SILVA, F. C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: EMBRAPA, 2009, 627p.

SORATTO, R. P. **Aplicação superficial de calcário e gesso na implantação do sistema de plantio direto em região de inverno seco.** Botucatu: UNESP, 2005. 177 p. (Tese de Doutorado).

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. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 675-688, 2008.

SOUZA, D. M. G.; RITCHEY, K. D. **Uso do Gesso no solo de cerrado.** In: Anais do I Seminário sobre o uso de fosfogesso na agricultura. Brasília, Embrapa-DDT, p.119-144, 1986.

SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S. e STEWART, B.A., eds. **Subsoil management techniques.** Athens: Lewis Publishers, p.147-185, 1995.

TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; BARRÓN, V. Phosphate sorption by natural hematites. **European Journal of Soil Science**, v.45, p.41-45, 1994.

VIRMOND, E., P. **Produção de semente de cultivares de batata a partir de brotos e desempenho em sistema orgânico**. Guarapuava: UNICENTRO, 2013. (Dissertação de Mestrado).