

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/331174839>

Fertilidade do solo

Article · February 2013

CITATIONS

10

READS

135

10 authors, including:



Eduardo Müller Gruhn

Universidade Federal de Santa Maria

6 PUBLICATIONS 60 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Telmo Jorge Carneiro Amado

Universidade Federal de Santa Maria

258 PUBLICATIONS 3,716 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



soil carbon [View project](#)



No-till and Cover Crops [View project](#)

Melhoria da qualidade química do perfil do solo sob plantio direto pela adição de gesso e de enxofre elementar isolada ou combinada com calcário e a produtividade das culturas

Douglas Dalla Nora¹, Telmo Jorge Carneiro Amado², Edvaldo Junio Pires Novais³, Eugênio Pott³; Dênio Oerlecke³; Joelson dos Santos Xavier³, Rafael Pivotto Bortolotto¹, Antônio Cesar Batista Mazuco¹, Eduardo Müller Gruhn¹

Introdução

A adoção do sistema plantio direto (SPD) no Sul do Brasil tem proporcionado a conservação do solo, ao mesmo tempo que suporta o aumento da produtividade das culturas agrícolas. O uso de material genético de maior potencial produtivo aliado a utilização mais eficiente de fertilizantes e defensivos têm resultado em respostas produtivas cada vez mais elevadas. No entanto, déficit hídricos de curta duração tem sido recorrentes resultando em significativa redução da produtividade e da renda econômica. Para ilustrar este fato, verificou-se a ocorrência de ao menos 4 quebras de safra nos últimos dez anos, com maior destaque aos anos agrícolas de 2004/05 e 2011/12 em que a redução da produção chegou a 30,7% e 31,5%, respectivamente (Emater, 2012).

O SPD proporcionou a redução das perdas de solo, principalmente, e as perdas de água, em menor escala, devido a manutenção da cobertura do solo, melhoria da estrutura do solo e aumento da infiltração de água. Ainda, proporcionou a melho-

ria das condições físico-hídricas pela formação de poros biológicos e a continuidade destes poros. Em que pese isto, a eficiência do SPD em sustentar produtividades competitivas sob condições de déficit hídrico tem sido questionada. Entre as críticas ao SPD destacam-se o pouco efeito na redução da compactação do solo, caso ela existir, e a concentração de nutrientes na camada superficial. Com o adensamento do solo e a inferior qualidade química da camada subsuperficial, as raízes das culturas tenderiam a se concentrarem nas primeiras camadas do solo. Com isto, alguns pesquisadores sustentam que as plantas sob SPD estariam mais sensíveis aos déficit hídricos. Para reverter esta situação, tem sido proposto a inversão de camadas do solo, através da aração, e a incorporação de corretivos. Esta prática seria repetida a cada cinco anos, reduzindo a compactação e promovendo a redistribuição vertical dos nutrientes e a incorporação de corretivos. O tema é polêmico e complexo, pois a interrupção do SPD pode implicar em perda da qualidade do solo, pela redução do teor de MOS, ruptura física

¹Mestrando em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS.
E-mail: douglasdnpg@gmail.com

²Professor Titular do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS
E-mail: proftelmoamado@gmail.com

³DETEC COTRIPAL, Panambi-RS.
E-mail: edvaldo@cotripal.com.br.

de agregados, quebra da continuidade dos poros, exposição do solo a chuvas de elevada intensidade, redução da biodiversidade do solo, gasto de diesel, gasto de tempo, mão de obra e de máquinas agrícolas. Por todas as razões supracitadas é uma prática pouco aceita pelos produtores, que vêem na interrupção do SPD um retrocesso no sistema produtivo.

As aplicações superficiais de calcário combinadas com gesso tem sido avaliadas como alternativas para a melhoria da qualidade química do perfil do solo SPD, sem necessidade de interrupção do sistema, proporcionando o aprofundamento do sistema radicular e a maior eficiência no uso da água do solo e, conseqüentemente, a manutenção de altas produtividades das culturas mesmo em anos de déficit hídrico (Caires et al., 2011; Dalla Nora & Amado, 2013).

Os múltiplos benefícios proporcionados pelo SPD resultaram em um rápido aumento da área adotada a partir da década de 90, alcançando hoje uma extensão próxima a 32 milhões de hectares (Derpsch & Friederich, 2011; Anjos et al., 2012). Entretanto, a acidez do solo em camadas subsuperficiais, tem sido recentemente diagnosticada através de amostragem de solo em camadas mais profundas do que 0-20 cm. A não formação de um perfil com qualidade química favorável ao desenvolvimento radicular tem sido destacado como um dos principais limitantes para a manutenção de elevadas produtividades em Latossolos ácidos, apresentando um efeito mais acentuado nas culturas em situações de déficit hídrico de curta duração (Coleman & Thomas, 1967) típicas do Estado do Rio Grande do Sul (Dalla Nora & Amado, 2013).

A acidez subsuperficial em Latossolos ácidos é decorrente em parte da estratégia de correção da acidez do solo no SPD, a qual, geralmente é realizada a partir do uso de calcário aplicado na superfície do solo em doses parceladas ao longo do tem-

po baseadas em análises químicas da camada superficial do solo (0,0-0,10 m). Esta estratégia tem efeito reduzido nas camadas mais profundas do solo devido a baixa solubilidade e as reduzidas doses de calcário aplicadas (Ritchey et al., 1980; Dalla Nora et al., 2013). Este efeito, ainda é incrementado em situações de monocultivo com limitado aporte de resíduos vegetais ao solo. Assim, a melhoria química das camadas subsuperficiais do solo, além da adição de insumos químicos, torna-se dependente da rotação de culturas e da utilização de plantas de cobertura, com prioridade ao uso de pastagens, que contribuem para a formação de um perfil de solo com características químicas e físicas favoráveis ao desenvolvimento radicular. Uma vez que as raízes das pastagens ou culturas de cobertura se desenvolverem nas camadas subsuperficiais, se formam canais que facilitarão o desenvolvimento radicular das culturas de grãos cultivadas em sequência. No cerrado brasileiro, o conceito de formação de perfil de solo com qualidade química favorável ao desenvolvimento radicular associado ao uso de milheto ou brachiária são práticas consolidadas para sustentar a produtividade na safrinha, que é mais sujeita a déficits hídricos.

Os elevados teores de alumínio e manganês, aliados aos baixos teores de Ca, Mg e de enxofre (S) caracterizam um impedimento químico frequentemente encontrado em subsuperfície das áreas agrícolas sob Latossolos ácidos. A adição de S em lavouras comerciais é normalmente realizada a partir de sua presença de forma secundária na formulação de determinados fertilizantes como é o caso do superfosfato simples (SFS). Outra alternativa é a aplicação de S a partir de fertilizantes com alta concentração desse nutriente como é o caso do sulfúrico ou então a partir do uso de gesso agrícola (Broch et al., 2011).

Motivada pela demanda internacional, verifica-se um gradativo incremento da área plantada e da produtividade da soja no RS e no Brasil. Esta leguminosa tem elevada demanda por S, que desempenha importante papel na composição de enzimas que governam a nutrição nitrogenada. Este macronutriente secundário, também faz parte da molécula de diversos compostos orgânicos como ferredoxinas, participa nas reações de oxidação da fotossíntese e na redução do NO_3 e do SO_4 , além disso o aminoácido metionina e o dipeptídeo cistina entram na composição das proteínas compondo a maior fração do S nas plantas (Duke & Reisenauer, 1986; Mengel & Kirkby, 1987). De acordo com Embrapa (Kirkby, 2003), a recomendação de S para a cultura da soja, na região Central do Brasil, é de 15 kg para cada 1000 kg de grãos produzidos. Resultados obtidos por Broch et al. (2011) reportaram que a soja apresenta resposta a adubação por S, sendo essa mais acentuada em solos com baixos teores deste nutriente. Os mesmos autores reportaram ainda que fontes de S como sulfúrico e gesso suprem satisfatoriamente as necessidades da cultura por esse elemento.

No RS, os resultados obtidos em relação à resposta das culturas a aplicação de S tem sido controversos, situação semelhante a do gesso agrícola, dificultando sua recomendação aos produtores. Em estudo em casa de vegetação Reinheimer et al. (2006) avaliando solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica não encontraram resposta ao uso de S no RS. No entanto, resultados obtidos em experimentos conduzidos em Latossolos sob SPD no plantio do RS indicaram que as respostas das culturas a gesso agrícola são significativas, em parte, devido ao aumento dos teores de S e, também, pela formação de um perfil de solo mais profundo e homogêneo quanto a qualidade química (Dalla

Nora & Amado, 2013). Além disso, a resposta a S é muito dependente do tipo de plantas cultivadas, sendo que as leguminosas, como é o caso da cultura da soja, apresentam maior probabilidade de resposta do que as gramíneas em função de seu teor mais elevado de proteínas (Alvarez et al., 2007). Esse fato também é verificado com o calcário, em que têm se observado respostas das culturas a doses de calcário em quantidades superiores as tradicionalmente recomendadas (Caires et al., 2012).

O uso do gesso, devido sua elevada solubilidade, além de fornecer cálcio (Ca) e S ao solo, também atua indiretamente na melhoria química do perfil, pela lixiviação do SO_4 através do perfil do solo arrastando consigo cátions como Ca, magnésio (Mg) e potássio (K), este último em menor quantidade, elevando assim a saturação por bases (V%) das camadas mais profundas do solo, formando ainda o complexo $AlSO_4$, o qual é menos tóxicos as plantas (Dias et al., 1992).

A resposta das culturas a fertilização com S ou referente a aplicação de gesso, bem como os parâmetros para tomada de decisões ainda não estão bem definidos para o Estado do RS. O mesmo ocorre com respostas das culturas a aplicação de calcário em condições onde a camada superficial foi previamente corrigida e a camada subsuperficial encontra-se muito ácida. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a resposta das culturas agrícolas a aplicação de gesso e sulfurgran e suas combinações com calcário em um Latossolo distrófico manejado sob plantio direto de longa duração. O trabalho foi implantado e conduzido pela equipe técnica da COTRIPAL e avaliado pela equipe de manejo e conservação do solo da UFSM.

Material e métodos

O experimento foi desenvolvido no campo experimental da Cotripal em Panambi-RS nas coordenadas $28^{\circ} 17' 24''S$ e $53^{\circ} 29' 27''W$

em um Latossolo Vermelho distrófico típico. O clima da região é classificado como subtropical úmido (Cfa) segundo Köppen com uma temperatura média anual de $16^{\circ}C$ e uma precipitação média de 1800 mm. A precipitação diária e acumulada do período experimental está representada na Figura 1.

Nas duas décadas anteriores a instalação do experimento, a área foi manejada com pastagem no sistema convencional de preparo do solo. A partir do ano 2000 foi implantado o SPD com cultivo de culturas de grãos de verão e inverno. Com o objetivo de correção do solo, doses sucessivas de $2,0 Mg ha^{-1}$ de calcário dolomítico e/ou calcítico espaçadas a cada três vem sendo aplicadas, procedimento esse, comumente realizado pelos agricultores da região. Nos últimos cinco anos a área experimental vem sendo cultivada com trigo no inverno e no verão vem recebendo as culturas de soja e milho em rotação (Figura 1).

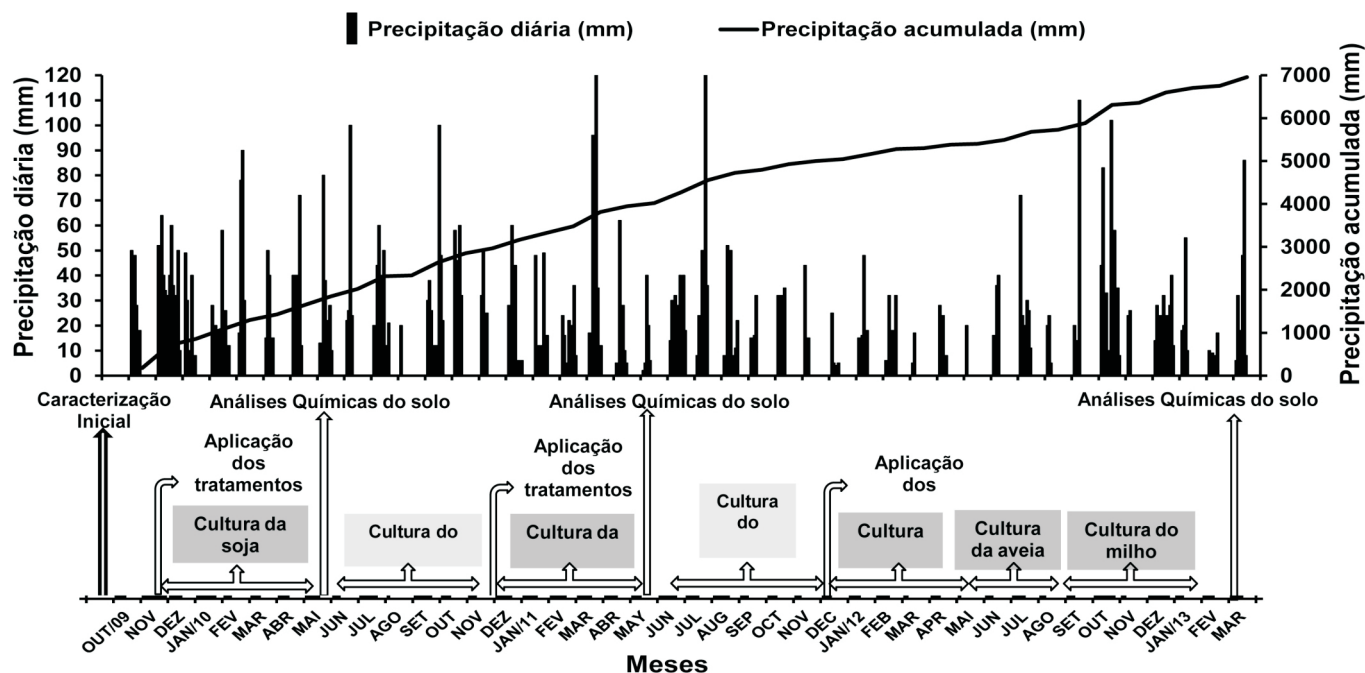


Figura 1. Distribuição pluviométrica diária no período experimental e ordem cronológica das intervenções realizadas no experimento.

Tabela 1. Caracterização dos parâmetros químicos do solo anterior à implantação do experimento.

Profundidade metros	pH _{H2O}	Al	Ca	Mg	K	Ca/Mg	Ca+Mg/K	CTC _{pH7,0}	P	S	V%	Sat. Al	Argila
		----- cmol _c dm ⁻³ -----								— mg dm ⁻³ ---	----- % -----		g kg ⁻¹
0,0 - 0,15	6,3	0,0	6,5	1,8	0,42	3,6	17,7	12,9	29,6	0,6	68,4	0,0	49
0,15 - 0,30	5,6	0,2	3,5	1,7	0,26	2,0	19,0	11,8	3,7	1,6	47,3	13,6	49
0,30 - 0,45	5,3	1,1	2,2	1,5	0,11	1,5	24,2	11,2	2,4	15,1	34,1	20,8	56

Al – Alumínio, Ca – Cálcio, Mg – Magnésio, K – Potássio, P – Fósforo, S – Enxofre, V% - Saturação por bases, Sat. Al - Saturação por alumínio.

O experimento foi iniciado no ano de 2009, quando a área experimental já se encontrava com 9 anos sob SPD. No mês de novembro daquele mesmo ano foram aplicados os tratamentos, seguindo planejamento estabelecido pelos Engenheiros Agrônomos Edvaldo Junio Pires Novais, Eugênio Pott e Glênio Oerlecke, sendo realizada a semeadura da soja (Figura 1).

Os teores de S da área experimental se encontravam em concentrações abaixo do nível crítico recomendado para as culturas (CQFS-RS/SC, 2004) (Tabela 1), a escolha dos tratamentos foi realizada com intuito de avaliar, primeiramente, a resposta das culturas a partir do incremento desse nutriente. Para a adubação com S foi tomado como base à aplicação de 50 kg ha⁻¹ de sulfurgran, dose média usada para alcançar a produtividade de 3300 kg ha⁻¹ de soja. O produto sulfurgran apresenta 90% de S, dessa maneira os tratamentos com gesso foram definidos para incrementar o mesmo teor de S proporcionado pelo sulfurgran, como representado na Tabela 2. Além dos tratamentos com gesso e sulfurgran, o calcário foi aplicado isoladamente com o intuito de avaliar a resposta a calagem mesmo em uma condição onde não seria recomendado pelos critérios atualmente utilizados (Tabela 1). Ainda, foi realizada a combinação entre sulfurgran + calcário, gesso + calcário, e sulfurgran + gesso + calcário (Tabela 2). No caso

do último tratamento, a combinação de duas fontes de S garantiria a disponibilidade do nutriente durante todo o ciclo da cultura e o calcário forneceria cátions para a melhoria da qualidade química das camadas sub-superficiais e elevaria a saturação de bases na camada superficial.

O experimento foi constituído de um tratamento testemunha (T0), sem calcário, gesso ou sulfurgran, somado a outros seis tratamentos descritos a seguir: T1 = sulfurgran; T2 = gesso; T3 = calcário; T4 = sulfurgran + calcário; T5 = gesso + calcário; T6 = sulfurgran + gesso + calcário (Tabela 2). A adubação (N-P-K) recomendada em cada cultura foi aplicada, igualmente, em todos os tratamentos para cada ano agrícola. A primeira aplicação dos tratamentos foi realizada anteriormente a primeira safra de soja (2009/10) e reaplicados na safra de 2010/11 (segunda safra de soja) e 2011/12 (terceira safra de soja) (Tabela 2). A cultura do trigo foi implantada nos invernos de 2010 e de 2011. Na safra de 2012/13 foi implantada a cultura do milho (Figura 1). A quantidade adicionada dos nutrientes Ca, Mg e S em cada tratamento para cada aplicação individual e ao final do experimento estão apresentadas na Tabela 2.

As coletas de solo foram realizadas anteriormente a instalação do experimento (Tabela 1), após 8, 20 e 40 meses da implantação dos tratamentos. As profundidades coletadas foram de 0,0-0,15, 0,15-0,30

e 0,30-0,45 m através da abertura manual de trincheiras. As determinações químicas foram de pH H₂O na suspensão solo-água na proporção de 1:1, teor de alumínio (Al) obtido na extração com KCL 1 mol L⁻¹, Ca e Mg obtidos na extração com KCL 1 mol L⁻¹, fósforo e K no solo extraídos pelo método do extrator duplo ácido Mehlich-I. A determinação do teor de S foi realizada a partir da ex-

tração com fosfato de Ca. Todos os procedimentos seguiram Tedesco et al. (2006).

Na maturação fisiológica das culturas do trigo, soja e milho, adjacente ao local de coleta de amostras de solo, foi coletada manualmente amostras para determinação da produtividade. Foram coletados 4 m lineares das culturas (2 m em cada linha de plantio), e a massa de grãos

foi corrigida para umidade de 13%.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos ao acaso com três repetições. Cada parcela experimental possuía as dimensões de 5 x 28 m totalizando uma área de 140 m² em cada parcela. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) no SAS (Sistemas de Análise Estatística Institute Inc., 1985). As médias fo-

Tabela 2. Doses de sulfogran, gesso e calcários aplicados para cada tratamento nas safras de 2009/10, 2010/11 e 2011/12.

Tratamento	Insumo	Kg ha ⁻¹ adicionados	Quantidades adicionadas (kg ha ⁻¹)		
			S	Ca	Mg
SAFRA 2009/2010					
T0	Testemunha	Adubação	-	-	-
T1	Sulfogran	50 kg	45	-	-
T2	Gesso	500 kg	77,7	105	-
T3	Calcário	1500 kg	-	385,9	135,7
T4	Sulfogran + Calcário	50 kg + 1500 kg	45	-	135,7
T5	Gesso + Calcário	500 kg + 1214 kg	77,7	-	109,8
T6	Sulfogran + Gesso + Calcário	50 kg + 500 kg + 1214 kg	122,7	-	109,8
SAFRA 2010/2011					
T0	Testemunha	Adubação	-	-	-
T1	Sulfogran	50 kg	45	-	-
T2	Gesso	500 kg	77,7	105	-
T3	Calcário	1739 kg	-	447,4	157,3
T4	Sulfogran + Calcário	50 kg + 1870 kg	45	-	169,2
T5	Gesso + Calcário	500 kg + 1774 kg	77,7	-	160,5
T6	Sulfogran + Gesso + Calcário	50 kg + 500 kg + 1445 kg	122,7	-	130,7
SAFRA 2011/2012					
T0	Testemunha	Adubação	-	-	-
T1	Sulfogran	50 kg	45	-	-
T2	Gesso	500 kg	77,7	105	-
T3	Calcário	2370 kg	-	609,8	214,4
T4	Sulfogran + Calcário	50 kg + 2590 kg	45	-	245,1
T5	Gesso + Calcário	500 kg + 2040 kg	77,7	-	184,8
T6	Sulfogran + Gesso + Calcário	50 kg + 500 kg + 2450 kg	122,7	-	221,6
TOTAL DE CADA INSUMO APÓS AS TRÊS APLICAÇÕES			Adições Totais		
T0	Testemunha	Adubação	-	-	-
T1	Sulfogran	150 kg	135	-	-
T2	Gesso	1500 kg	233,1	315	-
T3	Calcário	5609 kg	-	1443,1	507,4
T4	Sulfogran + Calcário	150 kg + 5960 kg	135	-	550,0
T5	Gesso + Calcário	1500 kg + 5028 kg	233,1	1608,6	455,1
T6	Sulfogran + Gesso + Calcário	150 kg + 1500 kg + 5109 kg	368,1	1629,5	462,1

*Todos os tratamentos receberam a mesma adubação (N-P-K) indicada para a cultura de cada respectivo ano.

ram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Foi realizada análise de regressão entre a produtividade das culturas com os teores de S e a saturação por Al nas diferentes camadas amostradas.

Resultados e discussão

Na área experimental, quando da implantação os teores de S na camada de 0,0-0,15 m e 0,15-0,30 m foram de 1,4 mg dm⁻³ e 0,8 mg dm⁻³, respectivamente, sendo classificados como muito baixos em relação aos valores críticos para as culturas agrícolas (5 mg dm⁻³ para gramíneas e 10 mg dm⁻³ para leguminosas) segundo a CQFS-RS/SC (2004). Portanto, a área experimental apresentava elevada probabilidade de resposta a aplicação de S.

Com relação ao gesso agrícola, de acordo com Raij (2010), a maior probabilidade de resposta a esse insumo, ocorre quando os teores de Ca estão abaixo de 0,4 cmolc dm⁻³ e o índice saturação por alumínio (saturação por Al) está acima de 40% na camada de 0,20-0,40 m. De acordo com a caracterização química inicial apresentada na Tabela 1, a aplicação inicial de gesso seria dispensável, exceto pelo incremento de S, nutriente o qual, encontrava-se abaixo do limite crítico para as culturas.

Quanto a acidez do solo, os indicadores químicos pH e saturação por Al, da camada de 0,0-0,15 m (Tabela 1) apresentavam valores acima dos críticos para as culturas de grãos. Por outro lado, o V% encontrava-se ligeiramente abaixo do limite crítico (65%). A partir desses parâmetros a probabilidade de resposta das culturas a aplicação de calcário seria baixa (CQFS-RS/SC, 2004).

Em resumo, a situação inicial do experimento sugeria elevada probabilidade de resposta a S, e baixa probabilidade para a adição de gesso (como condicionador) e de calcário.

Melhoria da qualidade química da camada de enraizamento

Transcorridos 8 meses da implantação do experimento, foi observado nos tratamentos que receberam doses de calcário combinados com os demais insumos (T4, T5 e T6) ou aplicado de forma isolada (T3) aumento dos valores de pH (Figura 2a) na camada superficial do solo (0,0-0,15 m). Nesses tratamentos o aumento dos valores de pH chegaram até a 0,4 unidades (Figura 2a).

Passados 20 meses da aplicação dos tratamentos, o aumento nos valores de pH foram mais elevados atingindo a camada amostral de 0,15-0,30 m (Figura 2b). Transcorridos, 40 meses esse efeito foi intensificado, quando os aumentos de pH chegaram até a camada de 0,30-0,40 m. Esse efeito, de acordo com Caires et al. (2008), é decorrente da reaplicação superficial de calcário em solo já corrigido com calagem na superfície, podendo assim facilitar a movimentação vertical do calcário resultando na redução da acidez de camadas mais profundas do perfil. Em um estudo realizado por Amaral et al. (2004), os autores verificaram que os efeitos do calcário na correção da acidez no perfil do solo foram rápidos e intensos, enfatizando a importância do transporte de calcário através da água da chuva no sistema plantio direto com reaplicações do corretivo na superfície do solo ao longo do tempo. O movimento vertical de calcário é mais acentuada em SPD onde a manutenção de resíduos culturais na superfície melhora a agregação do solo a partir do incremento do teor de carbono orgânico (Castro Filho et al., 1998), cujos agregados, maiores e menos densos, aumentam a infiltração de água no solo. Ainda, a ocorrência de bioporos e a sua continuidade favorece o fluxo preferencial de água no perfil do solo. Com a infiltração de água,

verifica-se o deslocamento vertical de partículas de calcário aplicado na superfície. Em contrapartida, estudos realizados por Rheinheimer et al. (2000) e Amaral & Anghinoni (2001) reportaram que as modificações nos atributos químicos do solo decorrentes da aplicação superficial de calcário foram expressos principalmente nas camadas superficiais do solo. Nesses trabalhos, com doses de calcário variando de 0,7 a 17 Mg ha⁻¹ e tempo de aplicação de um a quatro anos as camadas alteradas variaram de 2,5 cm para os atributos pH e alumínio, até 12,5 cm para os teores de cálcio e magnésio trocáveis.

Dada a lenta solubilização e movimentação do calcário no perfil do solo não se esperaria em curto a médio prazo (20 a 40 meses), aumento de pH na camada mais profunda do perfil (0,30-0,45 m) (Pavan et al., 1984, Farina et al., 2000). Assim, o aumento do pH do subsolo observado em nosso estudo, provavelmente possa ser atribuído ao efeito de interação do gesso com calcário, devido a reação de troca de ligantes na superfície das partículas do solo envolvendo óxidos hidratados de ferro e Al com o sulfato, deslocando assim o hidróxido que promove a neutralização parcial da acidez (Reeve & Sumner, 1972). Segundo Pavan, (1986), este efeito é observado com maior frequência em solos com predomínio de cargas variáveis como os Latossolos. Anteriormente, estudos realizados em Latossolos por Farina & Channon (1988), Raij et al. (1994), Caires et al. (2003), Soratto & Crusciol (2008) e Marques (2008) reportaram resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho. O efeito mais representativo de aumento do pH no subsolo se deu 40 meses após implantação do experimento no tratamento T5, sendo esse o tratamento que recebeu doses de gesso combinadas com calcário (Figura 2c). Destaca-se também que os tratamentos que receberam sul-

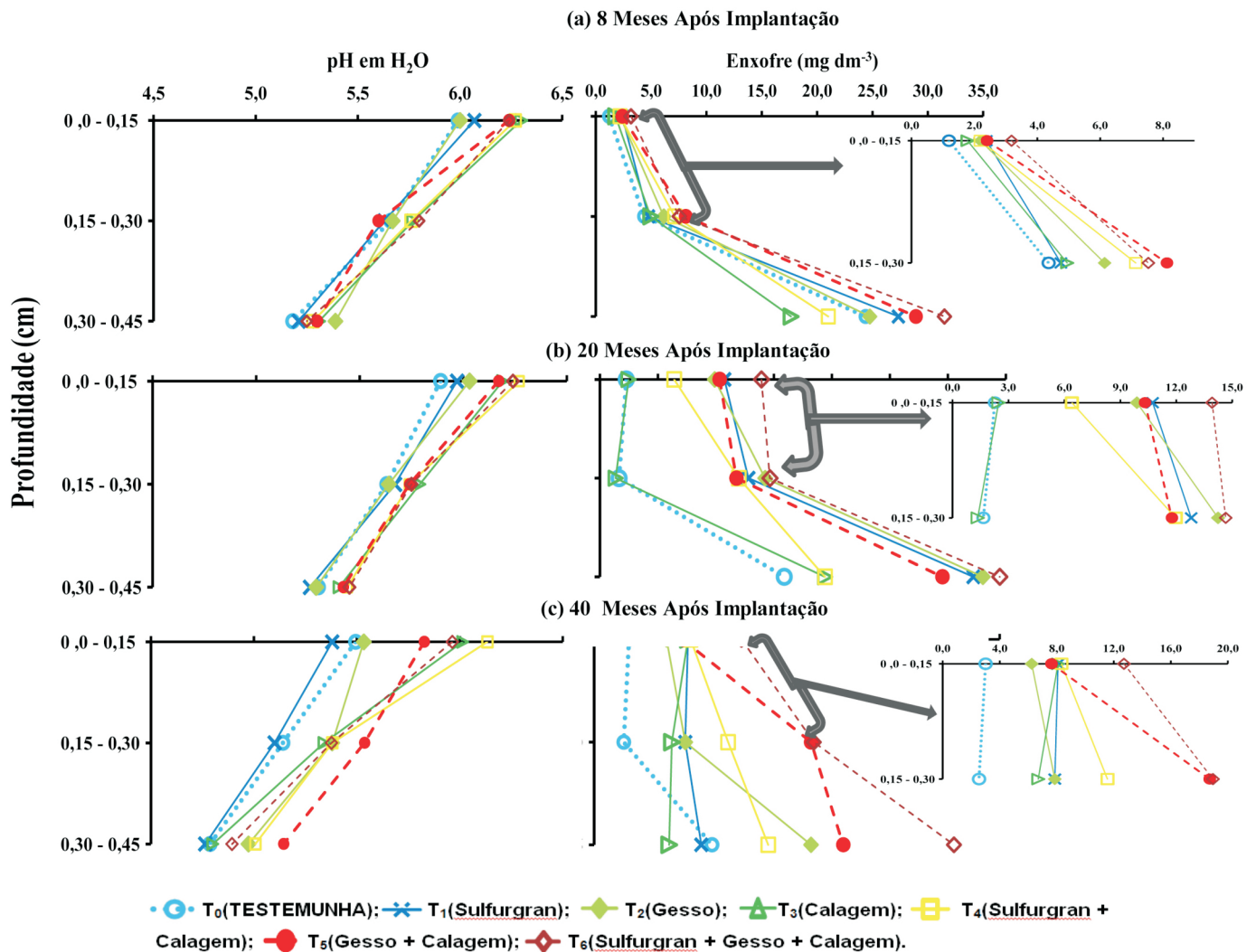


Figura 2. Efeito dos tratamentos sobre os valores de pH e enxofre do solo após 8 meses (a) e 20 meses (b) após a implantação dos experimentos.

furgran (T1, T4), apesar de resultarem no incremento de S ao longo de todo o perfil do solo, não induziram acréscimo do pH, como observado nos tratamentos que receberam gesso. Esse resultado demonstra que o sulfurgran substitui o gesso como uma fonte de S, porém não resulta em alterações nos demais atributos químicos do solo como é o caso do pH.

O incremento do teor de S, ao longo do perfil do solo, ocorreu de forma rápida e intensa nas três épocas avaliadas para os tratamentos que receberam sulfurgran ou gesso

(Figura 2). Estudando o efeito do gesso, Farina et al. (2000) reportaram incremento do teor de S até 0,90 m, Rampim et al. (2011) observaram incremento do teor de S até a camada de 0,40 m, transcorridos apenas oito meses da aplicação de gesso em um Latossolo.

No presente trabalho, a elevada movimentação do S no perfil do solo pode ter sido favorecida pela aplicação do calcário em determinados tratamentos, pois este ao elevar o pH, promove o incremento de cargas elétricas negativas que desfavorecem a adsorção do sulfato ao

complexo de troca (Camargo & Raij, 1989; Quaggio et al., 1993; Farina et al., 2000). A maior elevação dos teores de S nesse estudo ocorreu no tratamento T6, o qual recebeu gesso e sulfurgan, ambas fontes de S, combinadas ao calcário. Também foi verificada elevação dos teores de S para os tratamentos T2 e T5, os quais receberam doses de gesso e também para o tratamento T1 que recebeu doses de sulfurgan.

Após 20 meses (Figura 2b) e 40 meses (Figura 2c) de aplicação e reaplicação dos tratamentos, foi observado que, para os tratamentos que receberam gesso, sulfurgan ou a ambos os insumos combinados, os teores de S, na camada de 0,0-0,15 m, se aproximaram do limite crítico de 10 mg dm^{-3} propostos por Fontes et al. (1982) e CQFS-RS/SC (2004) (Figura 2). Aos 42 meses após a aplicação dos tratamentos foi observado um incremento mais acentuado dos teores de S nas camadas 0,0-0,15 e 0,15-0,30 para os tratamentos T5 e T6, os quais atingiram níveis superiores a 16 mg dm^{-3} na última camada citada. Em trabalho realizado por Broch et al. (2011), foi reportado aumento da produtividade da cultura da soja ao incremento dos teores de S a partir de aplicações de gesso ou sulfurgan. Embora possa não haver resposta à aplicação de S em muitas áreas cultivadas no Brasil, é necessária atenção aos processos envolvidos a dinâmica do S no solo, em função desse elemento apresentar rápido deslocamento ao longo do perfil, sob condições de regime de precipitação elevado. O transporte de S para o subsolo é justificado pelo decréscimo dos teores desse elemento na camada de 0,30-0,45 m quando comparada a segunda época de avaliação com a terceira, indicando que nesse último período o S foi transportado para camadas ainda mais profundas do perfil.

Em relação aos teores de Mg, foi verificado incremento na camada

superficial do solo (0,0-0,15 m) nos tratamentos que receberam doses de calcário, tal efeito está associado a presença de Mg no corretivo utilizado (Figura 3). Transcorridos, 20 meses após a aplicação dos tratamentos foi verificado um maior incremento subsuperficial nos teores desse nutriente no tratamento T6 que recebeu, juntamente ao calcário, doses de gesso e sulfurgan, tal aumento foi de 11,2% em relação a testemunha na camada de 0,15-0,30 m. Incrementos mais intensos dos teores de Mg na camada de 0,30-0,45 m apenas foram verificados após 40 meses da implantação do experimento para os tratamentos T2 e T5 em relação a testemunha, tais incrementos alcançaram 20,0% e 17,0%, respectivamente. Farina et al. (2000) e Zambrosi et al. (2007) atribuíram o incremento do Mg em subsuperfície devido a formação de sulfato de Mg ser prioritária em relação as demais formas iônicas do sulfato.

De modo geral, o conteúdo de Ca aumentou em todo o perfil do solo, após 40 meses nos tratamentos que receberam doses de gesso, calcário ou a combinação de ambos os insumos (Figura 3b). Rampim et al. (2011), após 8 meses de aplicação de gesso, também verificaram aumentos dos teores de Ca até 0,40 m de profundidade com doses de até $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$. Essa mobilidade do Ca no perfil do solo, para os tratamentos que receberam doses de gesso, é atribuída à formação de pares iônicos neutros com o SO_4^{2-} (Dias, 1992). Após 20 meses da implantação do experimento, o tratamento T5 que recebeu gesso e calcário apresentou aumentos de 42% e 60% nos teores de Ca para as camadas de 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m, respectivamente, em relação a testemunha. Já, transcorridos 40 meses após a aplicação dos tratamentos, esses aumentos foram de 51% e 52% para as respectivas profundidades. No entanto, para o tratamento T2 que recebeu apenas

gesso, os teores de Ca aumentaram 11% e 32%, 20 meses após a aplicação dos tratamentos para as camadas de 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m, respectivamente. Aos 40 meses, os aumentos foram de 19% e 50% para as respectivas camadas em relação a testemunha. Esses resultados demonstram que ação do gesso combinado ao calcário tem uma ação mais rápida e intensa ao longo do perfil do solo comparado ao gesso aplicado isoladamente, nesse sentido a aplicação combinada dos insumos é mais eficiente na redistribuição vertical do cálcio. Alternativamente, poderia-se aplicar primeiro o calcário e, posteriormente, o gesso. Esse incremento de Ca nas camadas mais profundas do solo é preponderante para o aumento da V% e, conseqüentemente, reduzir a atividade do Al na solução do solo. Porém, a adição apenas de S elementar (T1 e T4) promoveu a redistribuição vertical do Ca no perfil do solo até a camada 0,15-0,30 m, praticamente não tendo efeito na camada de 0,30-0,45 m, reforçando a ineficiência do sulfurgan em substituir o gesso como um condicionador da melhoria da qualidade química ao longo do perfil do solo.

A calagem aplicada isoladamente (T3) apresentou um efeito mais evidente sobre a V% até a camada de 0,15 m, sendo o efeito menos evidente nas camadas mais profundas do perfil (Figura 4). Por outro lado, quando aplicado isoladamente, o gesso elevou a V% em todas as profundidades do solo atingindo a camada mais profunda do solo (0,30-0,45 cm) na última época de amostragem (40 meses). Os efeitos do gesso e do calcário sobre a V% foram maximizados quando aplicados em conjunto, sendo verificado aumento da V% já aos oito meses após a implantação do experimento (Figura 4a), sendo esse aumento intensificado aos 20 meses (Figura 4b) e 40 meses (Figura 4c). Enquanto o tratamento Testemunha apresentou

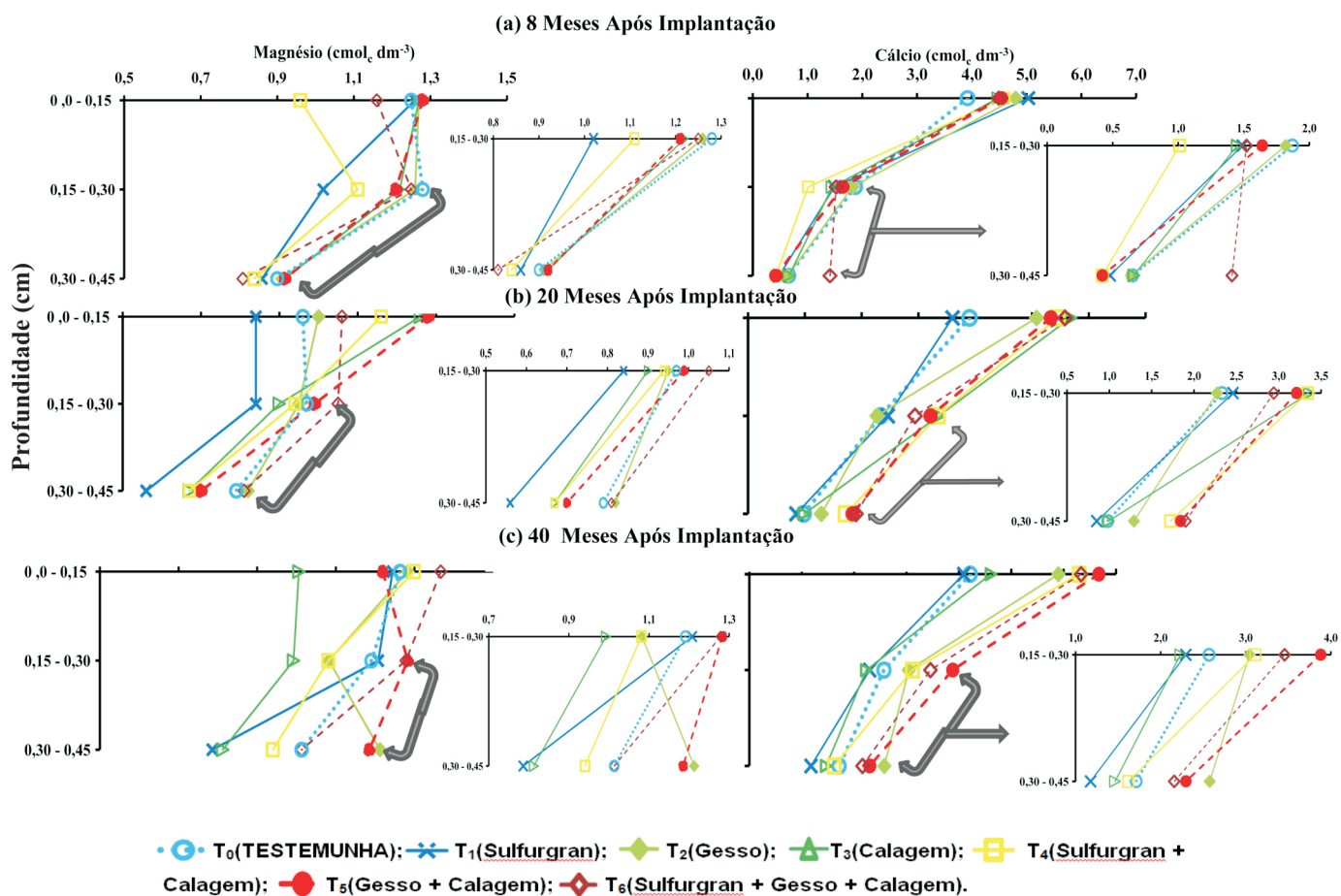


Figura 3. Efeito dos tratamentos sobre os valores de cálcio e magnésio do solo após 8 meses (a) e 20 meses (b) após a implantação dos experimentos.

52% de V%, os tratamentos T5 (gesso + calcário) e T6 (sulfurgran + gesso + calcário) mantiveram-se acima de 70% na camada de 0,0-0,15 m, além disso o tratamento T5 permaneceu acima de 60% até a camada de 0,15-0,30 m sendo esse valor, próximo ao valor crítico de 65% estabelecido pela CQFS-RS/SC (2004). O tratamento T5 apresentou aumento de 50,2%, 34,6% e 26,2% de V% para as camadas de 0,0-0,15 m, 0,15-0,30 m e 0,30-0,45 m, respectivamente, em relação a testemunha após 40 meses da implantação do experimento (Figura 4c).

Em relação a saturação por Al, o limite crítico de acordo com a CQFS-RS/SC (2004) é de 10% na camada

de 0,0-0,10 m. Os tratamentos que receberam gesso, calcário ou ambos, mantiveram-se abaixo do limite crítico para esse índice até a camada de 0,15-0,30 m já nos primeiros oito meses após a aplicação dos tratamentos. Por outro lado, a parcela testemunha já apresentava valores acima desse limite a partir da camada de 0,15 m (Figura 5a). O tratamento T6, que recebeu a combinação de calcário, gesso e sulfurgran, apenas apresentou saturação por Al após 0,30 m de profundidade.

Trancorridos 40 meses da aplicação dos tratamentos (Figura 5b) foi verificado decréscimo da saturação por Al até 0,45 m de profundidade, sendo esse decréscimo mais

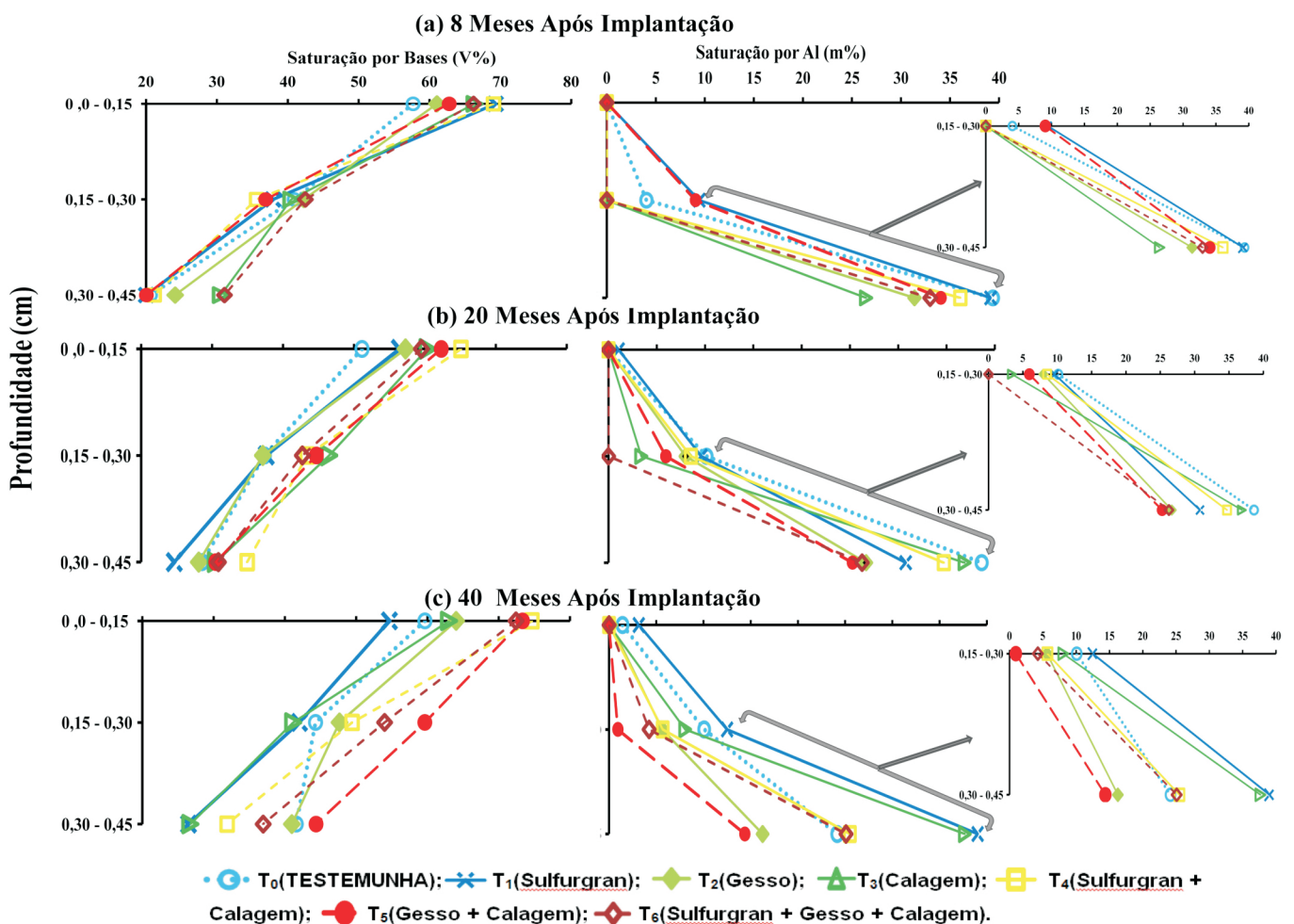


Figura 4. Efeito dos tratamentos sobre a Saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (saturação por Al) do solo após 8 meses (a) e 20 meses (b) após a implantação dos experimentos.

relevante no tratamento T5 que recebeu gesso e calcário combinados (Figura 5b). O tratamento T5 (gesso + calcário) reduziu em 36% a saturação por Al na camada de 0,30-0,45 m em relação ao tratamento testemunha, após 20 meses da aplicação dos tratamentos (Figura 5b). Aos 40 meses (Figura 5c), a redução da saturação por Al proporcionada pelo T5 foi 68,0% em relação a testemunha para a profundidade de 0,30-0,45 m.

O decréscimo da saturação por Al nas camadas mais profundas do perfil é decorrente do aumento dos teores de Ca^{2+} que deslocam o Al^{3+} para a solução do solo, sendo este temporariamente imobilizado pelo ânion sulfato proveniente da aplica-

ção do gesso (Pavan et al., 1984). O efeito tóxico do Al^{3+} trocável presente nas camadas superficiais tem ocorrido em menor intensidade sob SPD quando comparado ao sistema de preparo convencional, esse resultado é consequência da menor concentração de espécies tóxicas de Al e maior concentração de Al complexado com ligantes orgânicos sob SPD (Salet et al., 1999; Miyazawa et al., 2002). Entretanto, a atividade do Al em subsuperfície praticamente não é alterada pelo sistema de preparo, atuando negativamente sobre o desenvolvimento das raízes, havendo assim a necessidade de uso de corretivos e condicionadores para redução de seus teores.

Efeito dos tratamentos na produtividade das culturas

Com referência a safra de soja de 2009/10, apenas o tratamento T4 apresentou diferença significativa com a testemunha incrementando 7,9% da produtividade em relação a T0 (Figura 5a). Esse resultado sugere que o uso de calagem e sulfurgran como fonte imediata de S foi eficiente no aumento da produtividade da cultura da soja, reiterando que os teores desse nutriente encontravam-se muito abaixo do limite crítico (Tabela 1).

Na safra de soja de 2010/11, não foi verificada diferença significativa entre os tratamentos e a parcela testemunha (T0) (Figura 5a). A ausência de diferença em produtividade entre os tratamentos é explicada, em parte, pela melhoria dos atributos químicos do solo, principalmente no que diz respeito aos teores de S (Figura 1). Outro fator importante foi a ocorrência de condições climáticas ótimas durante todo o ciclo da cultura (Figura 1), como resultado, a safra 2010/11 foi a mais produtiva entre as avaliadas. Nessas condições, respostas a gessagem ou calagem tem menor probabilidade de ocorrência (Ritchey et al., 1980).

A safra de soja de 2011/12 foi a que apresentou a menor média de produtividade entre as avaliadas (Figura 5a), fato este, justificado pelo déficit de precipitação ocorrido durante o ciclo da cultura (Figura 1). Os tratamentos T3 e T6 apresentaram incrementos de 5,8% e 6,6%, respectivamente, em relação a testemunha (T0), se diferenciando significativamente da mesma. A maior média de produtividade do tratamento T6 (sulfurgran + gesso + calcário) é decorrente da elevada intensidade de insumos usados nesse tratamento, corrigindo de forma mais eficiente o perfil do solo, e assim, amenizando o efeito da restrição hídrica por meio

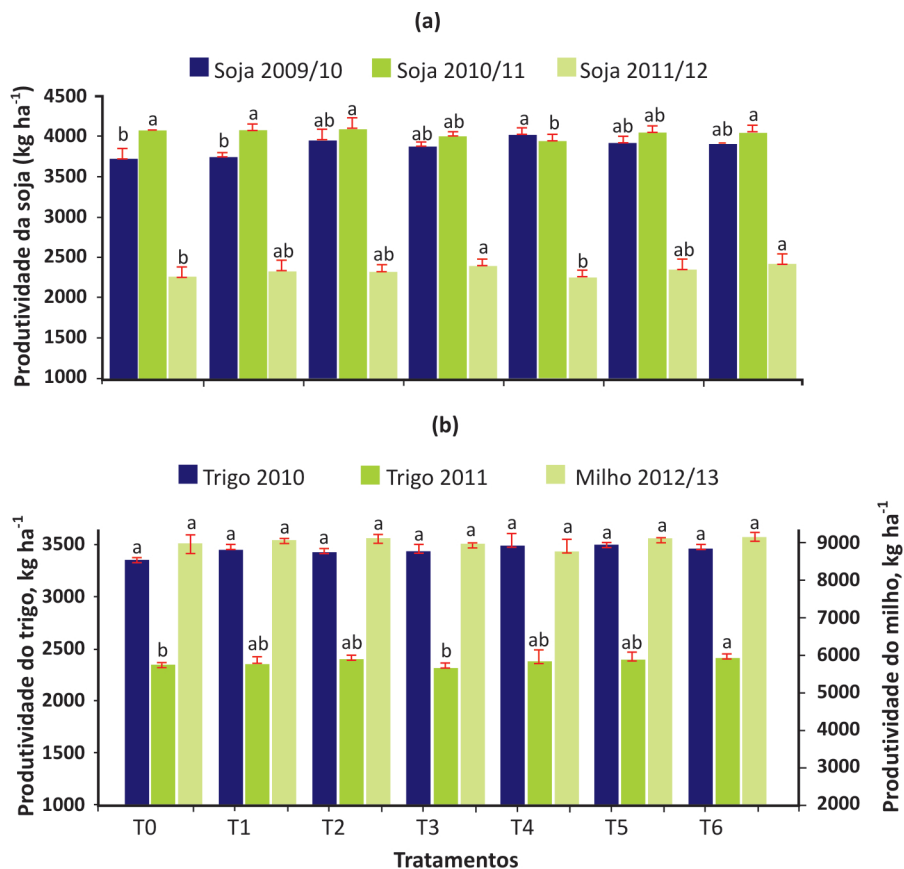


Figura 5. Efeito dos tratamentos sobre a produtividade da soja para as safras 2009/10, 2010/11 e 2011/12 (a) e do trigo nas safras de 2010 e 2011 (b). Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. T0 (TESTEMUNHA); T1 (Sulfurgran); T2 (Gesso); T3 (Calagem); T4 (Sulfurgran + Calagem); T5 (Gesso + Calagem); T6 (Sulfurgran + Gesso + Calagem).

do aprofundamento radicular (Reeve & Sumner, 1980). Em estudo realizado em um Latossolo Dalla Nora et al. (2013) verificaram que o uso do gesso contribuiu para redução das perdas de produtividade da cultura da soja em uma situação de déficit hídrico severo.

Para a cultura do trigo na safra de 2010 (Figura 5b), não foi verificada diferença significativa entre os tratamentos e a testemunha (T0). Na safra de trigo do ano de 2011, houve restrição hídrica durante o ciclo da cultura (Figura 1) reduzindo a produtividade média do experimento (Figura 5b). Neste caso, foi verificada diferença significativa entre o trata-

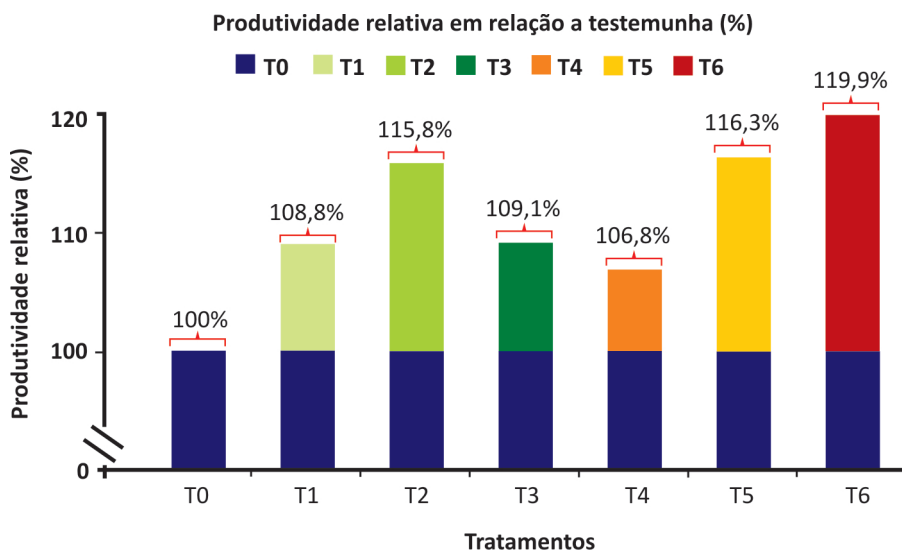


Figura 6. Produtividade relativa e produtividade relativa acumulada de cinco safras das culturas de soja e trigo sobre efeito dos tratamentos. T0 (Testemunha); T1 (Sulfurgran); T2 (Gesso); T3 (Calagem); T4 (Sulfurgran + Calagem); T5 (Gesso + Calagem); T6 (Sulfurgran + Gesso + Calagem).

mento T1 e a testemunha com um incremento de 3,3 % na produtividade. Esse fato é decorrente da melhoria química ao longo do perfil do solo formando um ambiente mais propício para o desenvolvimento radicular possibilitando um melhor aproveitamento de água e, assim assegurando o desenvolvimento das plantas em situações de baixa precipitação.

Na safra de milho de 2012/13 também não foi identificada diferença significativa entre os tratamentos, resultado esse, mais uma vez dependente das condições hídricas adequadas durante o ciclo da cultura (Figura 1).

Avaliando as seis safras em conjunto, o T6 (Calagem + Gesso + Sulfurgran), destacou-se pela maior produtividade relativa acumulada (Figura 6), o que se deve, principalmente devido a ação do gesso. Esse resultado pressupõe que, mesmo em condições onde o solo se encontra com a maioria dos indicadores químicos apresentando teores críticos superiores aos pré-estabelecidos para a camada superficial, pode haver respostas positivas na produtividade a

partir da melhoria das condições químicas de camadas subsuperficiais do perfil do solo.

O efeito mais pronunciado do gesso em relação aos demais insumos fica evidente pelo fato do tratamento T2 (Calagem + Gesso) ter atingido a segunda maior produtividade relativa acumulada, seguido pelo tratamento T4 (Gesso) com a terceira maior produtividade (Figura 6). Esses resultados pressupõe que o sulfurgran não substitui o gesso, insumo o qual além de ser fonte de S também provoca a redistribuição vertical de nutrientes no perfil do solo formando um ambiente mais propício para o desenvolvimento radicular. Quando o gesso é combinado ao calcário há uma potencialização do efeito isolado de cada insumo devido a correção superficial do calcário que acelera a descida do gesso para as camadas mais profundas do solo (Van Raij, 2010). O tratamento T4 (Sulfurgran e calcário) apresentou a menor produtividade relativa acumulada em relação a testemunha, esse resultado indica que há uma resposta das culturas a adubação com S, porém esse efeito é reduzido e apenas ocorre até os níveis críticos para esse nutriente serem atingidos.

A área experimental, exceto para os níveis de enxofre, apresentava-se quimicamente corrigida em suas camadas superficiais, favorecendo a ação do gesso, e assim, proporcionando uma melhoria das camadas mais profundas do solo. Essa melhoria foi traduzida pela diminuição da saturação por alumínio e aumento da participação de bases trocáveis no complexo de troca facilitando o desenvolvimento radicular e consequentemente aumentando a eficiência do uso da água armazenada no solo (Caires et al., 2012). Destaca-se que os tratamentos que atingiram as produtividades relativas acumuladas mais elevadas, ou seja, acima de 15%, possuíam gesso na sua composição (T2, T5 e T6) (Figura 6).

As respostas positivas ao uso isolado de calcário ou combinado com os outros insumos, mesmo em uma condição em que haveria baixa probabilidade de resposta (CQFS-RS/SC, 2004) são corroborados por Caires (2012) em estudos realizados sob Latossolos no Estado do Paraná, onde o autor sugeriu que o método da elevação da saturação por bases para 70%, na camada de 0,0-0,20 m, foi a mais adequada para a recomendação de calcário na superfície em SPD, que poderia ser distribuída sobre a superfície do solo em uma única aplicação ou de forma parcelada durante até três anos. Em estudo realizado em um Latossolo, Dalla Nora et al., (2013) encontraram respostas positivas de culturas de grão a doses de gesso combinado com calcário, mesmo em condições em que os atributos químicos indicadores estavam acima do crítico. Este fato deve ser investigado em futuros trabalhos de pesquisa.

Conclusão

A melhoria da qualidade química das camadas subsuperficiais do solo sob plantio direto contínuo foi alcançada a partir da combinação de gesso e calcário, refletindo-se no incremento da produtividade das culturas de grãos.

O aumento dos teores de S do solo resultou no aumento da produtividade das primeiras safras de soja e trigo, quando os níveis de S estavam muito abaixo do indicado para as culturas. A redução da saturação por Al, em camadas subsuperficiais, resultou no aumento da produtividade da soja e do trigo nos anos com ocorrência de déficit hídrico.

Foi verificado aumento da produtividade das culturas de grãos mesmo em condições onde o gesso ou o calcário teriam baixa probabilidade de resposta.

Referências

- ALVAREZ, V.H., ROSCOE, R., KURIHARA, C.H., PEREIRA, N.F. In: NOVAIS, R. F. NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. (Eds) Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 595-644.
- AMARAL, A. S. & ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.36, p.695-702, 2001.
- AMARAL, A. S., ANGHINONI I., HINRICHS, R. & BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um cambissolo em plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.359-367, 2004.
- ANJOS, L.H.C., JACOMINE, P.K.T. SANTOS, H.G. OLIVEIRA, V.A., OLIVEIRA, J.B. In: KER, J.C. CURI, N. SCHAEFER, C.E.G.R. & VIDAL-TORRADO, P.(Eds) Pedologia: Fundamentos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. 343p.
- BROCH, D.L., PAVINATO, P.S., POSSENTI, J.C., MARTIN, T.N. & DEL QUIQUI, E.M. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. Revista Ciência Agronômica, v.42, n.3, p.791-796, 2011.
- CAIRES, E.F. Calagem e uso de gesso em Sistema Plantio. Revista Plantio Direto, v.128, p.1-11, 2012.
- CAIRES, E. F., BARTH, G., GARBUIO, F. J., CHURKA, S. Soil acidity, liming and soybean performance under no-till. Scientia Agrícola, v.65, p.532-540, 2008.
- CAIRES, E.F., BLUM, J., BARTH, G., GARBUIO, F.J. & KUSMAN, M.T. Changes in chemical soil characteristics and soybean response to lime and gypsum applications in a no-tillage system. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.275-286, 2003.
- CAIRES, E.F., JORIS, H.A.W. & CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. Soil Use and Management, v.27, p.45-53, 2011
- CAMARGO, O.A. & RAIJ, B. VAN. Movimento de gesso em amostras de solo com diferentes propriedades eletroquímicas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.13, p.275-280, 1989.
- CASTRO FILHO, C., MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o conteúdo de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.22, p.527-538, 1998.
- COLEMAN, N.T. & THOMAS, G.W. The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R.W.; ADAMS, F. (Ed.) Soil acidity and liming. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p.1-41.
- 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. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400p.
- DALLA NORA, D., AMADO, T.J.C., GIRARDELLO, V.C. & MERTINS, C. Gesso: Alternativa para redistribuir verticalmente nutrientes no perfil do solo sob sistema plantio direto. Revista Plantio Direto, v.133, p.8-20, 2013.
- DALLA NORA, D.; AMADO, T.J.C. Improvement in Chemical Attributes of Oxisol Subsoil and Crop Yields under No-Till. Agronomy Journal, v.105, p. 1393-1403, 2013.
- DIAS, L.E. Uso de gesso como insumo agrícola. Seropédica, Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Biologia -CNPBS, 1992. 6p. (Comunicado Técnico 7)
- DUKE, S.H. & REISENAUER, H.M. Roles and requirements of sulfur in plant

- nutrition. In: SULFUR in agriculture. Madison: ASA/ CSSA/SSSA, 1986. p. 123-168. (Agronomy monography, 27).
- EMATER. Avançam perdas de Safra de grãos com estiagem no RS. 2012. Disponível em: <<http://www.emater.tche.br/site/noticias/noticia.php?id=13997>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2014.
- EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil, Sistema de Produção. 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 24 de maio de 2013.
- ESCOSTEGUY, P.A.V. Deficiência de potássio em lavouras de soja. Revista Plantio Direto, v.127, p.36-46, 2012.
- FARINA, M. P. W. & CHANNON, P. Acid subsoil amelioration I: Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 52, p.175-180, 1988.
- FARINA, M.P.W., CHANNON, P. & THIBAUD, G.R. A comparison of strategies for ameliorating subsoil acidity: I. Longterm growth effects. Soil Science Society of America Journal, v.64, p.646-651, 2000.
- FONTES, M.P.F. Nível crítico de enxofre em Latossolos e recuperação do sulfato adicionado por diferentes extratores químicos, em casa de vegetação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.6, p.226-230, 1982.
- MARQUES, R.R. Aplicação superficial de calcário e gesso em manejo conservacionista de solo para cultivo de amendoim e aveia branca. 2008. 142 f. (Doutorado em Agronomia/ Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & FRANCHINI, J.C. Evaluation of plant residues on the mobility of surface applied lime. Brazilian Archives of Biology and Technology, v.45, p.251-256, 2002.
- PAVAN, M.A. Comportamento do gesso nos solos ácidos das regiões tropicais e subtropicais. Piracicaba, POTAFOS - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1986. 3p. (Informações Agrônomicas, 35).
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. Soil Science Society of America Journal, v.48, p.33-38, 1984.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. V.; GALLO, P.B. & MASCARENHAS, H.A.A. Soybean responses to lime and gypsum and ion leaching into the soil profile. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.28, p.375-383, 1993.
- RAIJ, B. V., MASCARENHAS, H.A.A., PEREIRA, J.C.V.N.A., IGUE, T. & SORDI, G. Effect of limestone and gypsum for soybeans grown in dystrophic Oxisol saturated sulfate. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.18, p.305-312, 1994.
- RAIJ, B. Van. Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície. In: PROCHNOW, L.I., CASARIN, V., STIPP, S.R. ed. Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. 382p.
- RAMPIM, L., LANA, M.C., FRANDOLOSO, J.F. & FONTANIVA, S. Chemical attributes of a soil and response of Wheat and soybean to gypsum in no-tillage system. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.1687-1698, 2011.
- REEVE, N.G. & SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. Agrochimophisica, v.4, p.1-6, 1972.
- RHEINHEIMER, D.S.; RASCHE, J.W.A.; FILHO, B.D.O. & SILVA, L.S. Resposta à aplicação e recuperação de enxofre em cultivos de casa de vegetação em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica. Ciência Rural, v.37, n.2, p.363-371, 2007.
- RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E.E. & GATIBONI, L.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, p.795-805, 2000.
- RITCHEY, K.D., SOUSA, D.M.G., LOBATO, E. & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. Agronomy Journal, v.72, p.40-44, 1980.
- SALET, R.L., ANGHINONI, I. & KOCHHANN, R. A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistemaplantio direto. Revista Científica Unicruz, v.1, p.9-13, 1999.
- SAS Institute. 1985. SAS/STA guide for personal computers. Version 6 ed. SAS Inst., Cary, NC.
- SORATTO, R. P. & CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 675-688, 2008.
- SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S. & STEWART, B.A., (Eds). Subsoil management techniques. Athens, Lewis Publishers, 1995. p.147-185.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).
- ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F. & CAIRES, E.F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. Ciência Rural, v.37, p.110-117, 2007.