



Atributos químicos de argissolo após gessagem e cultivo de cana-de-açúcar *Chemical attributes of ultisol after gypsum application and sugarcane cultivation*

Patrícia Karla Batista de Andrade¹, Fernando José Freire¹, Emídio Cantídio Almeida de Oliveira¹, Renato Lemos dos Santos², Nathalia Sobral Bezerra¹, Flávio José Rodrigues Cruz¹

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, Brasil.

² Instituto Federal de Pernambuco Campus Vitória de Santo Antão, Pernambuco, Brasil

Contato: patriciapig2@yahoo.com.br

Palavras-Chave

Saccharum spp.
acidez trocável
alumínio trocável
cálcio trocável
toxicidade por alumínio

Key-word

Saccharum spp.
exchangeable acidity
exchangeable aluminum
exchangeable calcium
aluminum toxicity

RESUMO

A gessagem pode aumentar a produtividade das culturas por reduzir os teores de alumínio tóxico e suprir nutrientes como o Ca^{2+} , SO_4^{2-} e Mg^{2+} às plantas. Este estudo teve como objetivo avaliar os atributos químicos de um Argissolo após aplicação de gesso em área de cultivo de cana-de-açúcar. O delineamento experimental foi em blocos casualizado e os tratamentos foram constituídos das doses de 0; 0,325; 0,65; 1,3 e 2,6 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de gesso mineral. Após 30 dias da aplicação do gesso no sulco de plantio da cana-de-açúcar foram abertas trincheiras e nas camadas de 0 a 0,3 m, 0,3 a 0,6 m e 0,6 a 0,9 m foram coletadas amostras para análise dos atributos químicos. A gessagem reduziu os teores e a saturação de Al^{3+} na camada de 0 a 0,3 m, e as doses de 0,325 e 2,5 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ foram efetivas em aumentar os teores de SO_4^{2-} e Mg^{2+} em subsuperfície, respectivamente. Entretanto, não houve aumento nos teores de Ca^{2+} em subsuperfície e alterações consideráveis do pH nas camadas avaliadas.

ABSTRACT

Gypsum application can increase crop productivity by reducing the levels of toxic aluminum and supplying nutrients such as Ca^{2+} , SO_4^{2-} and Mg^{2+} to plants. This study aimed to evaluate the chemical attributes of a Ultisol after gypsum application in a sugarcane cultivation area. The experimental design was a randomized block and the treatments consisted of doses of 0; 0.325; 0.65; 1.3 and 2.6 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ of mineral plaster. After 30 days of plaster application in the sugarcane planting furrow, trenches were opened and samples of 0 a 0.3 m, 0.3 a 0.6 m and 0.6 a 0.9 m were collected for analysis of chemical attributes. Gypsum application reduced Al^{3+} levels and saturation in the 0 a 0.3 m layer, and doses of 0.325 and 2.5 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ were effective in increasing the levels of SO_4^{2-} and Mg^{2+} in the subsurface, respectively. However, there was no increase in Ca^{2+} contents in subsurface and considerable changes in pH in the evaluated layers.

Informações do artigo

Recebido: 28 de maio, 2020

Aceito: 31 de março, 2021

Publicado: 30 de abril, 2021

Introdução

Aproximadamente 40% dos solos aráveis em todo mundo são ácidos e a toxicidade do alumínio (Al^{3+}) ao sistema radicular das plantas é a principal limitação à produção de culturas e forragens na maioria dos solos ácidos (SANTOS et al., 2012; KOCHIAN et al., 2015; ROCHA et al., 2017). A calagem constitui uma prática utilizada para neutralizar a acidez do solo, aumentar a disponibilidade de nutrientes, reduzir o teor de Al^{3+} tóxico, melhorar o ambiente radicular, bem como restaurar a capacidade produtiva dos solos (CRUSCIOL et al., 2014; ZANDONÁ et al., 2015; FERREIRA et al., 2020).

Para que a calagem alcance seus objetivos é necessário que a aplicação do calcário seja realizada antes do plantio (de dois a três meses), com distribuição uniforme e incorporação até 0,2 m de profundidade, no mínimo (SANTOS et al., 2013; SANTOS et al., 2015). Devido à baixa mobilidade do calcário no perfil do solo, os efeitos restringem-se à camada arável ou superficial do solo, pouco excedendo a profundidade de 0,15 a 0,20 m, em função das dificuldades de incorporação às camadas mais profundas (BORTOLANZA e KLEIN, 2016).

Neste contexto, a aplicação de gesso constitui uma estratégia para contornar a baixa mobilidade do calcário no perfil do solo, pois sua solubilidade em água é 150 vezes maior que a do calcário (MARCHESAN et al., 2017; CAIRES e GUIMARÃES, 2018; GUARÇONI et al., 2019). Em função da alta solubilidade, em comparação ao calcário, o gesso é hábil em disponibilizar Ca^{2+} e SO_4^{2-} , neutralizar o Al^{3+} tóxico (SANTOS et al. 2012; CRUSCIOL et al., 2014; MORAES et al., 2016) e favorecer a movimentação de alguns nutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e SO_4^{2-}) para camadas inferiores do solo (BASSO et al., 2015). Desse modo o gesso tem sido indicado como um agente condicionador das características químicas dos solos (CAIRES e GUIMARÃES, 2018).

Embora o gesso seja um importante agente condicionador do solo (produto que melhora propriedades físicas, e/ou físico-químicas e/ou biológicas), a gessagem promove resultados experimentais diversos quanto à alteração em seus atributos. Por exemplo, em LATOSSOLO VERMELHO distrófico não houve alteração nos teores de Al^{3+} trocável até a profundidade de 40 cm após 55 meses da aplicação de doses de gesso (ZAMBROSI et al., 2007). Por outro lado, a gessagem realizada em LATOSSOLO AMARELO coeso distrófico promoveu redução da saturação por Al^{3+} em todas as camadas avaliadas após 150 dias da aplicação (SALDANHA et al., 2007). Rocha et al. (2014) obtiveram ganhos em produção e incremento dos teores de nutrientes de sorgo após onze meses da aplicação de gesso em ARGISSOLO AMARELO distrocóeso.

Em vista da baixa fertilidade natural de solos do tipo ARGISSOLO AMARELO distrocóeso e de sua representatividade no cultivo de cana-de-açúcar na região Nordeste (NETO et al., 2015), o manejo da fertilidade desses solos mostra-se importante para ganhos em produtividade. Os efeitos positivos são resultantes do aumento dos teores de nutrientes como o enxofre e cálcio, além da neutralização de Al^{3+} tóxico.

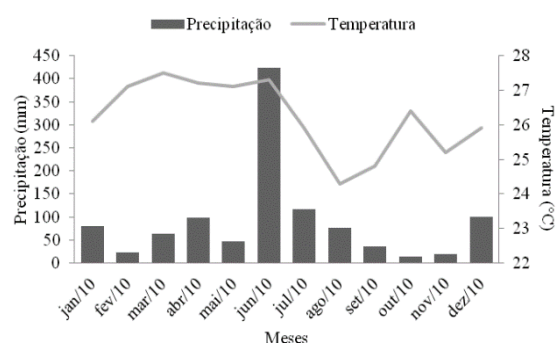
Este estudo teve como objetivo avaliar os atributos químicos de um ARGISSOLO AMARELO distrocóeso típico após aplicação de gesso em área de cultivo de cana-de-açúcar.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido entre os meses de fevereiro e dezembro de 2010 na Estação Experimental de Cana-de-açúcar da Universidade Federal Rural de Pernambuco (EECAC - UFRPE) Zona da Mata Pernambucana, no município de Carpina.

O clima é do tipo tropical chuvoso e com estação seca, que inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, mas que pode se estender até outubro (CPRM, 2005). A precipitação acumulada ao longo do período experimental foi de 1.022,3 mm (Figura 1).

Figura 1. Valores mensais de precipitação pluviométrica (mm) e temperatura ($^{\circ}C$) registrados ao longo de todo o período experimental



Fonte: Autores (2010)

O solo da área experimental é do tipo ARGISSOLO AMARELO distrocóeso típico de textura arenosa sobre argilosa (SANTOS et al., 2018). A caracterização físico-química do solo está apresentada na Tabela 1.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizado com quatro repetições. Nas parcelas foram aplicados cinco tratamentos de gesso, que consistiram nas doses de 0; 0,325; 0,65; 1,3 e 2,6 $Mg.ha^{-1}$ de gesso mineral.

Os tratamentos foram estabelecidos conforme a necessidade de gesso (NG) calculados segundo a recomendação da utilização de valores percentuais da necessidade de calagem (NC) da camada que se deseja corrigir (ALVAREZ et al., 1999).

O intervalo de profundidade escolhido foi a de 0,61 a 0,90 m, devido ao maior teor de Al^{3+} e maior saturação de alumínio (Tabela 1). A NC foi calculada conforme Manual de Recomendação de Adubação para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008) baseado no método da neutralização do Al^{3+} trocável ou elevação dos teores trocáveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} . A NC calculada por esse método foi de 2,6 $Mg.ha^{-1}$ de calcário.

A aplicação dos tratamentos de gesso foi realizada no sulco de plantio a 0,30 m de profundidade.

Após 20 dias da aplicação dos tratamentos de gesso foi realizada a adubação conforme Manual de Recomendação de Adubação para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008) e o plantio da cana-de-açúcar variedade RB92579. A adubação foi realizada em dose única no fundo do sulco de plantio com ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio. Foram aplicados 90 kg.ha⁻¹ de N, 60 kg.ha⁻¹ P₂O₅ e 60 kg.ha⁻¹ de K₂O.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos de ARGISSOLO AMARELO distrocoeso típico, em Carpina – PE, nas camadas de 0 a 0,3, 0,3 a 0,6, e 0,6 a 0,9 m

Atributo	Profundidade (cm)		
	0 a 0,3	0,3 a 0,6	0,6 a 0,9
pH _{água} (1:2,5)	5,49	5,14	4,83
pH _{CaCl2} (1:2,5)	4,48	4,25	4,00
Ca ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	1,90	1,20	0,10
Mg ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	1,96	1,23	0,90
K ⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	0,22	0,12	0,04
Al ³⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	0,35	0,81	1,26
(H+Al) (cmol _c .dm ⁻³)	8,67	9,44	8,50
P _{rem} (mg.dm ⁻³)	24,12	15,56	4,50
S-SO ₄ ²⁻ (mg.dm ⁻³)	0,88	0,63	1,07
CMAAS (mg.cm ⁻³)	0,016	-0,044	-0,046
COT (g.kg ⁻¹)	16,04	13,41	9,59
Fe ³⁺ (mg.dm ⁻³)	105,6	110,5	106,9
Zn ²⁺ (mg.dm ⁻³)	1,77	0,70	0,37
Cu ²⁺ (mg.dm ⁻³)	0,51	0,40	0,39
Mn ²⁺ (mg.dm ⁻³)	11,62	5,65	2,97
CTC _{pH 7,0} (cmol _c .dm ⁻³)	12,95	12,11	9,61
CTC _{efetiva} (cmol _c .dm ⁻³)	4,63	3,48	2,37
SB (cmol _c .dm ⁻³)	4,28	2,67	1,11
V (%)	33,06	22,05	11,55
M (%)	7,56	22,05	11,55
PST (%)	1,54	0,99	0,73
Areia (g.kg ⁻¹)	704	614	624
Silte (g.kg ⁻¹)	30	50	40
Argila (g.kg ⁻¹)	266	336	336
Classe textural	Franco- argilo-arenosa		
ds (g.cm ⁻³)	1,46	1,37	1,35
dp (g.cm ⁻³)	2,56	2,50	2,53
Pt (%)	42,97	45,20	46,64
CC (m ³ .m ⁻³)	0,143	0,148	0,147
PMP (m ³ .m ⁻³)	0,075	0,088	0,099
Ko (mm.h ⁻¹)	200	83,7	13,2

Legenda: P-rem: Fósforo remanescente; COT: Carbono orgânico total; CMAAS: Capacidade máxima de adsorção de sulfato; CTC_{pH 7,0}: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0; CTC_{efetiva}: Capacidade de troca de cátions efetiva; V: Saturação por bases; m: Saturação por alumínio. ds: Densidade do solo; dp: Densidade das partículas; Pt: Porosidade total; CC: Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente; Ko: Condutividade hidráulica.

Aos 300 dias da aplicação dos tratamentos de gesso e após a colheita da cana planta foi aberta uma trincheira na área útil de cada parcela e nas profundidades de 0,0 a 0,30, 0,3 a 0,6 e 0,6 a 0,9 m foram coletadas amostras de solo para a caracterização dos atributos químicos do solo. Para tanto, foram determinados o pH em CaCl₂ (1:2,5), os teores de Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, K⁺, carbono orgânico total (COT) (DONAGEMA et al., 2011) e de SO₄²⁻ disponível (ALVAREZ et al., 2001). A saturação por alumínio (m) foi calculada com base na relação entre os teores trocáveis de Al³⁺ pela soma Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺. A caracterização física do solo foi realizada por meio de análise granulométrica segundo o método da pipeta para definição da classe textural, densidade do solo pelo método do anel volumétrico, capacidade de campo e ponto de murcha permanente por meio da câmara de Richards, a

condutividade hidráulica e a porosidade total (DONAGEMA et al., 2011).

Os dados das variáveis relativos a cada profundidade foram submetidos à análise de variância (ANAVA). Quando se observou efeito significativo pelo teste F, foi realizada a análise de regressão polinomial para avaliar o efeito das doses de gesso sobre os atributos químicos do solo. Todas as análises foram realizadas a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Na Tabela 2 se encontram o quadro da ANAVA, os valores médios e regressões dos atributos químicos do solo, nas três profundidades avaliadas. Na camada de 0 a 0,3 m, as doses de gesso promoveram diferenças significativas, conforme o teste F, apenas nos teores de Ca²⁺, Mg²⁺ Al³⁺ trocáveis e na saturação de alumínio (m) (Tabela 2). O gesso aumentou o teor das bases trocáveis divalentes e reduziu o teor e a saturação do Al³⁺.

Para os teores trocáveis de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, e de m, os melhores ajustes polinomiais às doses de gesso foram o linear, cúbico, quadrático e cúbico, respectivamente, sendo possível realizar as estimativas de pontos mínimos e máximos dentro do intervalo de estudo (Tabela 2). Os teores trocáveis de Ca²⁺ apresentaram variações em resposta às doses de gesso, variando de 1,25 a 1,68 cmol_c.dm⁻³. O maior teor de Ca²⁺ foi observado com a aplicação de 2,6 Mg.ha⁻¹ de gesso, representando aumento de 34%. O aumento do teor do Ca²⁺ no solo é positivo para o crescimento vegetal, pois aumenta a competição do nutriente no complexo sortivo e reduz a m (ALVAREZ et al., 1999). O aumento da concentração de Ca²⁺ na camada superficial não é comum de ser observado (CAIRES e GUIMARÃES, 2018). Apesar do gesso ter sido aplicado no fundo do sulco, a 0,3 m de profundidade, parte do insumo pode ter entrado em contato com a camada superficial e assim ter promovido alterações no solo, aumentando os teores de Ca²⁺.

Os teores de Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis mostraram grandes variações em função das doses de gesso, considerando-se o tratamento sem gesso. Os teores de Mg²⁺ variaram de 0,07 a 0,37 cmol_c.dm⁻³, enquanto que os de Al³⁺ trocáveis variaram de 0,40 a 1,26 cmol_c.dm⁻³. Entretanto a aplicação do gesso aumentou o teor de Mg²⁺, em média 178%, e reduziu o teor de Al³⁺ em 68% com a dose de 2,6 Mg.ha⁻¹. O aumento da disponibilidade do Mg pode ter origem no efeito de massa do Ca²⁺ causado pelo gesso, deslocando o Mg²⁺ adsorvido para a solução do solo (ALVAREZ et al., 1999).

Assim como o aumento do teor de Ca²⁺, um dos objetivos da gessagem é reduzir a concentração do Al³⁺, que é tóxico ao crescimento vegetal. Essa redução, provavelmente, está associada a formação do AlSO₄⁺ e/ou Al₂(SO₄)₃ e/ou Al(OH)₃ e/ou outras formas não-tóxicas às plantas (ALVAREZ et al., 1999; CAIRES e GUIMARÃES, 2018).

Os valores de m acompanharam o mesmo padrão de reposta dos teores trocáveis de Al³⁺, observando-se reduções com o aumento das doses de gesso (Tabela 2).

Tabela 2. Quadro de análise de variância e regressão polinomial dos atributos químicos do ARGISSOLO AMARELO distrocoeso típico nas profundidades de 0 a 0,3, 0,3 a 0,6 e 0,6 a 0,9 m. Os valores numéricos são relativos ao teste F

Camada de 0 a 0,3 m								
Fator de variação	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	S-SO ₄ ²⁻	COT	m
Valor de F								
Tratamento	1,8 ^{ns}	28,2 [*]	6,0 [*]	2,4 ^{ns}	9,8 [*]	2,7 ^{ns}	1,7 ^{ns}	5,3 [*]
Bloco	3,1 ^{ns}	3,0 ^{ns}	0,6 ^{ns}	1,2 ^{ns}	1,5 ^{ns}	1,4 ^{ns}	1,1 ^{ns}	0,9 ^{ns}
C.V. (%)	6,3	11,4	55,7	33,0	28,1	31,0	8,0	21,7
Gesso (Mg.ha ⁻¹)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	S-SO ₄ ²⁻	COT	m
cmol _c .dm ⁻³						mg.dm ⁻³	g.kg ⁻¹	%
0,0	4,92	1,55	0,07	0,09	1,26	0,46	33,9	42,2
0,325	5,06	1,65	0,37	0,08	0,71	0,69	34,6	25,2
0,65	4,82	1,25	0,12	0,05	0,78	0,75	34,5	34,6
1,3	5,57	1,65	0,11	0,08	0,55	0,54	37,8	22,7
2,6	4,73	1,68	0,18	0,05	0,40	0,90	32,9	29,9
Média	4,96	1,35	0,17	0,07	0,74	0,67	34,7	30,9
Atributo químico	Função polinomial							R ²
Ca ²⁺	$\hat{y} = -0,318^{**}x^2 + 1,670^{**}$							0,63
Mg ²⁺	$\hat{y} = 0,197^{ns}x^3 - 0,729^{ns}x^2 + 0,588^*x + 0,116^*$							0,37
Al ³⁺	$\hat{y} = 0,173^{ns}x^2 - 0,728^{**}x + 1,144^{**}$							0,85
m	$\hat{y} = -1,750^{ns}x^3 + 12,988^{ns}x^2 - 25,776^{ns}x + 39,816^{**}$							0,55
Camada de 0,3 a 0,6 m								
Fonte de variação	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	S-SO ₄ ²⁻	COT	m
Valor de F								
Tratamento	1,9 ^{ns}	0,2 ^{ns}	3,7 [*]	1,9 ^{ns}	0,6 ^{ns}	7,4 [*]	3,2 [*]	0,68 ^{ns}
Bloco	1,5 ^{ns}	1,1 ^{ns}	1,4 ^{ns}	0,8 ^{ns}	1,1 ^{ns}	2,3 ^{ns}	0,8 ^{ns}	1,00 ^{ns}
C.V. (%)	8,2	46,4	38,1	34,3	12,2	36,7	6,99	10,32
Gesso (Mg.ha ⁻¹)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	S-SO ₄ ²⁻	COT	m
cmol _c .dm ⁻³						mg.dm ⁻³	g.kg ⁻¹	%
0,0	4,82	0,51	0,25	0,02	1,68	0,58	29,57	70,87
0,325	4,78	0,58	0,22	0,04	1,65	0,58	33,47	65,69
0,65	4,37	0,56	0,16	0,04	1,47	0,20	29,78	67,97
1,3	4,42	0,68	0,20	0,04	1,61	0,85	29,01	64,88
2,6	4,17	0,60	0,07	0,03	1,55	1,09	28,83	71,22
Média	4,50	0,58	0,18	0,03	1,59	0,66	30,13	68,13
Atributo químico	Função polinomial							R ²
Mg ²⁺	$\hat{y} = -0,060^{**}x^2 + 0,242^{**}$							0,85
SO ₄ ²⁻	$\hat{y} = 0,247^{**}x + 0,422^{**}$							0,58
C	$\hat{y} = 2,744^{ns}x^3 - 10,156^{ns}x^2 + 7,341^{ns}x + 20,194^{**}$							0,53
Camada de 0,6 a 0,9 m								
Fonte de variação	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	S-SO ₄ ²⁻	COT	m
Valor de F								
Tratamento	5,04 [*]	2,64 ^{ns}	0,96 ^{ns}	4,13 [*]	0,39 ^{ns}	6,19 [*]	7,68 [*]	1,78 ^{ns}
Bloco	7,34 [*]	1,81 ^{ns}	2,30 ^{ns}	1,45 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,61 ^{ns}	2,44 ^{ns}	3,99 [*]
C.V. (%)	5,44	10,00	31,10	48,26	16,71	44,42	6,45	4,10
Gesso (Mg.ha ⁻¹)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	S-SO ₄ ²⁻	COT	m
cmol _c .dm ⁻³						mg.dm ⁻³	g.kg ⁻¹	%
0,0	4,47	0,36	0,25	0,06	1,68	1,02	22,54	71,36
0,325	4,55	0,40	0,26	0,02	1,65	0,55	27,64	70,52
0,65	3,95	0,40	0,22	0,02	1,47	0,94	25,12	69,07
1,3	4,30	0,33	0,21	0,02	1,61	0,63	25,21	72,88
2,6	4,05	0,34	0,17	0,02	1,55	1,97	22,33	74,05
Média	4,26	0,36	0,22	0,03	1,59	1,04	24,57	71,58
Atributo químico	Função polinomial							R ²
pH	$\hat{y} = -0,148^*x^2 + 4,409^*$							0,34
K ⁺	$\hat{y} = 0,011^*x^2 - 0,039^*x + 0,051^{**}$							0,61
SO ₄ ²⁻	$\hat{y} = 0,416^{**}x + 0,620$							0,68
C	$\hat{y} = 2,663^*x^3 - 11,617^*x^2 + 11,905^{**}x + 22,126^{**}$							0,56

Profundidades de 0 a 0,3, 0,3 a 0,6 e 0,6 a 0,9 m. Os valores numéricos são relativos ao teste F. ns: não significativo; *, **: significativo respectivamente a 5% e 1%; COT: carbono orgânico total; m: saturação por Al³⁺.

Verificou-se variações de 0,40 a 1,26 cmol_c.dm⁻³ nos teores trocáveis de Al³⁺ e 22,7% a 42,2% nos valores de m.

Assim como já apresentado, a aplicação do gesso aumentou os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ e reduziu o teor de Al³⁺, o que levou a redução da m. Desse modo, o gesso cumpriu o seu principal objetivo, a redução da m, já na camada superficial (ALVAREZ et al., 1999; CAIRES e GUIMARÃES, 2018).

Em geral, na camada de 0 a 0,3 m os teores médios das bases trocáveis Ca²⁺ (1,35 cmol_c.dm⁻³), Mg²⁺ (0,17

cmol_c.dm⁻³) e K⁺ (0,07 cmol_c.dm⁻³) foram menores em relação aos teores presentes na análise do solo anterior à implantação do experimento (Tabela 2). Estes resultados sugerem que mesmo com a gessagem, a exportação pela cultura e a lixiviação de nutrientes ocasionado pela precipitação acumulada de 1.021,3 mm tenham contribuído para reduzir os teores de bases trocáveis.

Isso fica evidente, sobretudo, para os teores médios de K⁺ e Mg²⁺ trocáveis, que foram 68% e 91% menores após 300 dias da implantação do experimento.

Os teores médios de Al^{3+} trocáveis, por outro lado, apresentaram incremento de 110% em relação aos teores iniciais à implantação da cultura. Ademais, deve-se enfatizar que a gessagem aumentou os teores médios de Mg^{2+} em 143% e neutralizou os teores médios de Al^{3+} em 41% em comparação a dose 0 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Tabela 2). Após 50 meses de gessagem em LATOSSOLO VERMELHO distrófico cultivado com cana-de-açúcar houve redução dos teores de Al^{3+} , mas diferentemente do encontrado no presente trabalho, não foram observadas diferenças estatísticas para os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} avaliados na camada de 0 a 0,2 m (ARAÚJO et al., 2016). Em outro estudo, a aplicação a lanço de doses de gesso em Latossolo Vermelho distrófico típico reduziu os teores trocáveis de Al^{3+} nas camadas de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m após a colheita de soja (ZANDONÁ et al., 2015).

A gessagem promoveu diferenças significativas apenas nos teores de Mg^{2+} , S-SO_4^{2-} e COT na camada de 0,3 a 0,6 m de acordo com o teste F (Tabela 2). Para os teores de Mg^{2+} , S-SO_4^{2-} e COT os melhores ajustes polinomiais às doses de gesso foram o linear (Mg^{2+} , SO_4^{2-}) e cúbico, respectivamente (Tabela 2). Com o aumento das doses de gesso houve redução dos teores de Mg^{2+} , que variaram de 0,07 a 0,25 $\text{cmol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Por outro lado, houve aumento dos teores de SO_4^{2-} com o incremento das doses de gesso, com os teores de S-SO_4^{2-} variando de 0,20 a 1,08 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Apesar dos teores de COT serem significativos, a variação de seus teores em resposta à gessagem foi pequena, em média 3,1% (Tabela 2). A redução nos teores de Mg^{2+} pode ser justificada pela exportação do nutriente pela cultura, bem como pela movimentação vertical, explicados pela formação de complexos orgânicos hidrossolúveis, a partir de ácidos orgânicos liberados por restos culturais presentes na superfície do solo (MIYAZAWA et al., 2002). As doses de gesso de 1,3 e 2,6 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ aumentaram em 45,6% e 88%, os teores de S-SO_4^{2-} na camada de 0,3 a 0,6 m, respectivamente, em relação ao tratamento sem gesso, além de promover maior movimentação do S-SO_4^{2-} no perfil do solo (Tabela 2). A dissociação do CaSO_4 em Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} possibilita a lixiviação do ânion sulfato, que pode reagir por meio de complexação com o Al^{3+} formando o composto AlSO_4 não tóxico às plantas. O aumento do teor de S-SO_4^{2-} em profundidade pela aplicação do gesso também foi observado por Rampim et al. (2011). Os autores avaliaram o efeito de doses de gesso em LATOSSOLO VERMELHO eutroférico de textura argilosa, e aos seis e dozes meses após a aplicação do insumo, observaram incrementos nos teores de S-SO_4^{2-} em três diferentes camadas do solo.

Na camada de 0,6 a 0,9 m, as doses de gesso promoveram efeito significativo no pH, teores de K^+ , S-SO_4^{2-} e COT, conforme teste F (tabela 2). Houve ajuste polinomial linear ao pH e S-SO_4^{2-} , enquanto que o ajuste polinomial aos teores de K^+ e COT foi quadrático e cúbico, respectivamente, sendo possível realizar as estimativas de pontos mínimos e máximos dentro do intervalo de estudo (Tabela 2). Apesar de significativos, o pH e os teores de K^+ e COT, apresentaram pequenas variações entre as doses de gesso. Por outro lado, os teores de S-SO_4^{2-} aumentaram com o incremento das doses de gesso, variando de 0,55 a 1,97 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. O maior efeito da

gessagem na camada de 0,6 a 0,9 m foi o aumento dos teores de S-SO_4^{2-} , similarmente ao observado na camada de 0,3 a 0,6 m. O aumento no teor do S-SO_4^{2-} em profundidade é esperado, pois é um dos objetivos da gessagem. O gesso é o $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, que em solução dissocia o S-SO_4^{2-} na solução do solo, que pode ser absorvido pelas plantas, adsorvido às cargas positivas do solo, imobilizado por microrganismos, perdido por lixiviação ou perdido para a atmosfera (ALVAREZ et al., 1999; RAMPIM et al., 2011; CAIRES e GUIMARÃES, 2018). Em nosso trabalho, parte considerável do S-SO_4^{2-} ficou adsorvido no solo e por isso foi observado o aumento em profundidade. Embora na camada de 0 a 0,3 m a gessagem não tenha promovido efeito significativo no teor de COT, a média dos teores foi maior em comparação aos teores da análise de solo anterior à implantação do experimento (Tabela 1). É possível que o aumento no teor do COT se deva a contribuição do C oriundo do crescimento radicular da cana-de-açúcar. Esse efeito também foi observado por Oliveira et al. (2002). Os autores avaliaram o efeito da aplicação de doses de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar e constataram aumento de 34% no COT após 360 dias de cultivo mesmo sem aplicar o lodo. A maior disponibilidade de S-SO_4^{2-} pode estar associada à presença de matéria orgânica nas camadas mais superficiais, que por meio da mineralização há liberação de S-SO_4^{2-} e outros compostos ricos em sulfatos. Como o S-SO_4^{2-} não é atraído pela superfície de colóides e da matéria orgânica, ele pode ser removido pela movimentação da água para camadas mais profundas do solo, o que explica maiores teores de S-SO_4^{2-} nas camadas de 0,3 a 0,6 m e 0,6 a 0,9 m (SOUZA et al., 2012).

Em geral, as doses de gesso promoveram efeito significativos nos atributos químicos do solo, com o aumento de 17% nos teores médios de S-SO_4^{2-} , na camada de 0,3 a 0,6 m. Na camada de 0 a 0,3 m a gessagem não promoveu efeito significativo nos teores de SO_4^{2-} (Tabela 2). Deve-se considerar que o aumento dos teores de S-SO_4^{2-} em profundidade é importante porque a queimada do canavial para a colheita da cana volatiliza o S contido no material vegetal, fato que agrava a possíveis deficiências de S a curto prazo (FERNANDES et al., 2007).

Conclusão

Mesmo apresentando maior solubilidade que o calcário, a aplicação do gesso alterou significativamente os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e a m na camada superficial. A aplicação do gesso promoveu aumento de até 34% no teor de Ca^{2+} , e de 178% no ter de Mg^{2+} , em média. Ainda o gesso reduziu o teor de Al^{3+} em 68% com a dose de 2,6 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. O ânion presente no gesso é o SO_4^{2-} , ânion de ácido forte, sendo doador de próton. Desse modo, a aplicação do gesso não alterou o pH do solo até 0,6 m de profundidade. Os valores médios de pH foram de 4,96 e 4,50, nas camadas de 0 a 0,3 e 0,3 a 0,6 m, respectivamente.

É comum se esperar efeito do gesso em camada subsuperficial e pouco ou nenhum efeito na camada superficial, quanto aos teores de Ca^{2+} e m.

Neste trabalho a aplicação do gesso elevou o teor de Ca^{2+} na camada superficial em 34% com a dose de 2,6 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, após o cultivo da cana-de-açúcar; reduzindo o teor e a saturação por Al^{3+} , em média, 52% e 33%, respectivamente; e não aumentou os teores de Ca^{2+} em subsuperfície, apresentando média de 0,58 e 0,36 $\text{cmol}\cdot\text{dm}^{-3}$ nas camadas de 0,3 a 0,6 e 0,6 a 0,9 m, respectivamente. Ao mesmo tempo que a gessagem atua na redução Al^{3+} , fornece o SO_4^{2-} , além do Ca^{2+} , e redistribui o Mg^{2+} em profundidade. Após o cultivo da cana-de-açúcar, os teores de $\text{S}\text{-SO}_4^{2-}$ nas camadas de 0,3 a 0,6 e 0,6 a 0,9 m foram elevados em 90%, em média, com a aplicação de 2,6 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de gesso.

O gesso, de fato, atua como condicionador da qualidade química do solo, aumentando o teor de Ca^{2+} e $\text{S}\text{-SO}_4^{2-}$, redistribuindo o Mg^{2+} e com isso, reduzindo a disponibilidade do Al^{3+} tóxico às plantas e sua saturação, tornando-se um insumo essencial para elevação da fertilidade dos solos.

Contribuição dos autores

Os autores desse artigo declaram que contribuíram de forma igualitária na sua elaboração.

Referências

- ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 3ª aproximação, Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 67-78.
- ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; OLIVEIRA, J. A. **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas**. Viçosa: UFV, 2001. 131 p.
- ARAÚJO, L. G.; FIGUEIREDO, C. C.; SOUSA, D. M. G.; NUNES, R. F.; REIN, T. A. Influence of gypsum application on sugarcane yield and soil chemical properties in the Brazilian Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n.11, p.1557-1563, 2016.
- BASSO, C. J.; SOMAVILLA, L.; SILVA, R. F.; SANTI, A. L. Intervenção mecânica e gesso agrícola para mitigar o gradiente vertical de cátions sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 456-463, 2015.
- BORTOLANZA, D. R.; KLEIN, V. A. Soil Chemical and Physical Properties on an Inceptisol after Liming (Surface and Incorporated) Associated with Gypsum Application. **Revista Brasileira Ciências Solo**, v. 40, 2016.
- CAIRES, E. F.; GUIMARÃES, A. M. A Novel Phosphogypsum Application Recommendation Method under Continuous No-Till Management in Brazil. **Agronomy Journal**, vol. 110, p. 1-9, 2018.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Carpina, Estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 21p.
- CRUSCIOL, C. A. C.; FOLTRAN, R.; ROSSATO, O. B.; MCCRAY, J. M.; ROSSETTO, R. Effects of surface application of calciummagnesium silicate and gypsum on soil fertility and sugarcane yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1843-1854, 2014.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- FERREIRA, C. F.; BASSACO, M. V. M. ARAÚJO, E. M.; PAULETTI, V.; PRIOR, S. A.; MOTTA, A. C. V. Gypsum effects on eucalyptus nutrition in subtropical Brazil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p.25160-25177, 2020.
- FERNANDES, M. B.; FREIRE, F. J.; COSTA, F. G. B. Gesso mineral como fonte de enxofre para cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v. 20, n.4, p. 93-103, 2007.
- GUARÇONI, A.; FAVARATO, L. F.; STIPP, S. R.; CASARIN, V. Manejo da fertilidade do solo para uma produção agropecuária mais sustentável. **Incap em Revista**, v. 10, p. 22-42, 2019.
- IPA - Instituto Agrônomo de Pernambuco. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**. 2ª aproximação, 2. ed. rev., Recife: IPA, 2008. 198p.
- KOCHIAN, L.; PINEROS, M.A.; LIU, J.; MAGALHAES, J. V. Plant adaptation to acid soils: the molecular basis for crop aluminum resistance. **Annual Review of Plant Biology**, v.66, p.571-598, 2015.
- MARCHESAN, E.; TONETTO, F.; TELÓ, G. M.; COELHO, L. L.; ARAMBURU, B. B.; TRIVISOL, V. S. Soil management and application of agricultural gypsum in a Planosol for soybean cultivation. **Ciência Rural**, v.47, n.11, 2017.
- 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**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 251-256, 2002.
- MORAES, V. R.; MELO, T. R.; BRITO, O. R. Chemical properties of an Oxisol after gypsum application. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3027-3036, 2016.
- NETO, D. E. S.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; OLIVEIRA, E. C. A. E ROCHA, A. T. Adubação fosfatada para cana-de-açúcar em solos representativos para o cultivo da espécie no Nordeste brasileiro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.50, n.1, p.73-81, jan. 2015.
- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um LATOSSOLO AMARELO distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 505-519, 2002.
- RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos do solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n. 5, p. 1687-1698, 2011.
- ROCHA, I. T. M.; FREIRE, F. J.; SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G. S.; SILVA, A. V.; NETO, D. E. S.; SOBRAL, N. M. Mineral gypsum ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), a promoter of biomass production of sweet sorghum. **Australian Journal of Crop Science**, v.8, n. 12, p.1663-1670, 2014.
- ROCHA, I. T. M.; FREIRE, F. J.; SOUZA, E. R.; SOBRAL, N. M. ; FREIRE, M. G. B. S.; OLIVEIRA, E. C. A.; SIMOES NETO, D. E. Aluminum buffering in acid soil under mineral gypsum application. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, p. 597-605, 2017.
- SALDANHA, E. C. M.; ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, E. C. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J. Uso de gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v.20, n.1, p.36-42, 2007.
- SANTOS, R. L.; AZEVEDO, V. M.; FREIRE, F. J.; ROCHA, A. T.; TAVARES, J. A.; FREIRE, M. B. G. S. Extração e Eficiência de Uso de Nutrientes em Capim-Elefante na Presença de Gesso. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.36, p.497-505, 2012.
- SANTOS, R. L.; FREIRE, F. J.; AZEVEDO, V. M.; ROCHA, A. T.; TAVARES, J. A. Produção de capim elefante e movimentação de cátions em função de gesso mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1030-1037, 2013.
- SANTOS, R. L.; FREIRE, F. J.; ROCHA, A. T.; SILVA, J. A. A.; TAVARES, J. A.; FERREIRA, E. G. B. S.; OLIVEIRA, E. G. B. S. Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) biomass production as promising alternative source of energy in Brazil's semiarid area using gypsum. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, p.1082-108, 2015.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2018. 356 p.

SOUZA, F. R.; JUNIOR, E. J. R.; FIETZ, C. R.; BERGAMIN, A. C.; ROSA, Y. B. C. J.; ZEVIANI, W. Z. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1717-1732, set./out. 2012.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolo sob sistema plantio direto. **Bragantia**, v.66, n.3, p.487-495, 2007.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 128-137, abr./jun. 2015